

TUGAS AKHIR - TL 141584

**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR ALUMINUM
(Al) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR
MIKRO PADUAN TEMBAGA-ALUMINUM-NIKEL
(Cu-Al-Ni) PADA APLIKASI *PROPELLER* KAPAL**

ICHSAN SALMAN
NRP. 02511440000129

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR - TL 141584

**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR ALUMINUM
(Al) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
STRUKTUR MIKRO PADUAN TEMBAGA-
ALUMINUM-NIKEL (Cu-Al-Ni) PADA APLIKASI
PROPELLER KAPAL**

Ichsan Salman
NRP. 02511440000129

Dosen Pembimbing:
Dr. Eng Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**EFFECT OF ADDITIONAL ALUMINUM
ELEMENTS (Al) ON MECHANICAL
PROPERTIES AND MICRO STRUCTURE OF
COPPER-ALUMINUM-NICKEL ALLOYS (Cu-Al-
Ni) ON SHIP PROPELLER APPLICATIONS**

Ichsan Salman
NRP. 02511440000129

Advisors:
Dr. Eng Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR ALUMINIUM
(Al) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR
MIKRO PADUAN TEMBAGA-ALUMINUM-NIKEL
(Cu-Al-Ni) PADA APLIKASI *PROPELLER* KAPAL**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ICHSAN SALMAN

Nrp. 02511440000129

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc. (Pembimbing I)
2. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. (Pembimbing II)



PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR ALUMINUM (Al) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN TEMBAGA-ALUMINUM-NIKEL (Cu-Al-Ni) PADA APLIKASI *PROPELLER* KAPAL

Nama Mahasiswa : Ichsan Salman
NRP : 02511440000129
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Dr. Eng.HostaArdhyananta,ST,M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

ABSTRAK

Propeller merupakan salah satu komponen gerak kapal yang berkerja dengan mengkonversi gerakan rotasi menjadi daya dorong untuk menggerakkan kapal ke depan. Pada kondisi kerja *propeller* mengalami kontak langsung dengan air laut. Oleh karena itu dibutuhkan material yang kuat dan tahan terhadap korosi. Material yang umum digunakan pada aplikasi *propeller* adalah paduan tembaga dan baja 13Cr4Ni (martensitic steel). Namun, pembuatan *propeller* yang biasanya melalui metode pengecoran akan menemui kesulitan jika menggunakan baja SS 13Cr4Ni. Hal ini dikarenakan baja SS 13Cr4Ni memiliki kandungan unsur dengan titik leleh yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan material alternatif yang mudah dibuat tanpa menghilangkan sifat dan karakteristik yang harus dipenuhi. Material alternatif tersebut adalah paduan tembaga-aluminum-nikel (Cu-Al-Ni). Tujuan diadakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan unsur aluminum (Al) terhadap struktur mikro, nilai kekerasan, dan nilai kekuatan tarik paduan Cu-Al-Ni. Preparasi spesimen dilakukan dengan variabel penambahan unsur aluminum sebesar 5, 10, 15 dan 20% wt dengan komposisi nikel sebesar 3% wt. Pembuatan cetakan pasir dilengkapi dengan pola cetakan komponen yang disesuaikan dengan standar pengujian tarik (ASTM E8M). Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *vickers*. Untuk mengetahui komposisi dari unsur dalam

paduan dilakukan pengujian komposisi kimia dengan *Optical Emission Spectroscopy*. Struktur mikro paduan diamati diatas mikroskop optik dengan metode metalografi. Begitu pun dengan analisa transformasi fasa kristalin yang terbentuk selama proses diamati oleh *X-Ray Diffraction*. Setelah pengujian dilakukan didapatkan hasil kekerasan maksimum yaitu pada logam paduan Cu-20Al-3Ni sebesar 395 VHN dan kekerasan paling rendah pada paduan Cu-5Al-3Ni sebesar 57,6 VHN. Hasil pengujian tarik didapatkan UTS maksimum pada paduan Cu-10Al-3Ni sebesar 304 Mpa . Nilai UTS minimum didapat pada paduan Cu-20Al-3Ni sebesar 30,6 MPa . Porositas pada logam sangat mempengaruhi nilai hasil pengujian tarik dan berdasarkan pengujian porositas didapat nilai maksimum 16,6% pada logam paduan Cu-20Al-3Ni.

Kata Kunci : Propeller, Paduan Cu-Al-Ni, Kekuatan Tarik, Kekerasan, Sand Casting

EFFECT OF ADDITIONAL ALUMINUM ELEMENTS (Al) ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICRO STRUCTURE OF COPPER-ALUMINUM-NICKEL ALLOYS (Cu-Al-Ni) ON SHIP PROPELLER APPLICATIONS

Name : Ichsan Salman
NRP : 02511440000129
Departement : Materials Engineering
Advisor : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Abstract

Propeller is one of the components of ship motion that work by converting the rotation motion into the thrust to move the ship forward. In working conditions the propeller experiences direct contact with sea water. Therefore, strong and corrosion resistant material is required. Material commonly used in propeller applications is copper and steel 13Cr4Ni (martensitic steel). However, the manufacture of propellers usually through the casting method will find it difficult if using SS 13Cr4Ni steel. This is because SS 13Cr4Ni steel has an element content with high melting point. Therefore, an alternative material is easily made without eliminating the properties and characteristics that must be met. The alternative material is a copper-aluminum-nickel alloy (Cu-Al-Ni). The purpose of this research is to know the effect of the addition of aluminum element (Al) to the micro structure, hardness value, and the value of tensile strength of Cu-Al-Ni alloy. Specimen preparation was done by adding aluminum element variable of 5%, 10%, 15% and 20% wt with nickel composition of 3% wt. Sand molding is equipped with component molding patterns adapted to tensile testing standards (ASTM E8M). Hardness testing was performed using the vickers method. To know the composition of the elements in the alloy is done testing of Optical Emission Spectroscopy. The microstructure of alloys will be observed over

the optical microscope by metallographic methods. So even with the analysis of crystalline phase transformations formed during the process will be observed by X-Ray Diffraction. After the test, the maximum hardness obtained on Cu-20Al-3Ni alloy was 395 VHN and the lowest hardness in Cu-5Al-3Ni alloy was 57,6 VHN. Tensile test results obtained maximum UTS on Cu-10Al-3Ni alloys of 304 Mpa. Minimum UTS values was obtained on Cu-20Al-3Ni alloys of 30,6 MPa. Porosity in the metal greatly affects the value of tensile test results and based on porosity testing obtained a maximum value of 16,6% in Cu-20Al-3Ni alloys.

Key Word : Propeller, Cu-Al-Ni Alloy, Tensile Test, Hardness Test, Sand Casting

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh Penambahan Unsur Aluminum (Al) terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Paduan Tembaga-Aluminum-Nikel (Cu-Al-Ni) pada Aplikasi Propeller Kapal”**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya

1. Allah SWT berkat pertolongan dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materiil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
3. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
4. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI ITS dan dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
5. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan

memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.

6. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
8. Keluarga MT 16 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
9. Dan seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 4 Januari 2018
Penulis,

Ichsan Salman
0251144000012

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kapal	5
2.1.1 Umum.....	5
2.1.2 Propulsi Kapal	7
2.1.3 Propulsor	8
2.2 <i>Propeller</i> Kapal.....	9
2.3 Tembaga (Cu).....	12
2.4 Aluminium (Al).....	15
2.5 Nickel (Ni)	18
2.6 Paduan <i>Aluminium Bronze</i> (Cu-Al)	20
2.7 Jenis Jenis Paduan <i>Alumunium Bronze</i>	22
2.8 Pengecoran	24
2.9 <i>Sand Casting</i>	25
2.10 Gating Sistem	27
2.11 <i>Shrinkage Allowance</i>	38
2.12 <i>Draft Allowance</i>	41
2.13 <i>Machining Allowance</i>	42
2.14 Cacat pada Pengecoran.....	43
2.15 <i>Crucible Furnace</i>	46
2.16 <i>Mass Balance</i>	47
2.17 Penelitian Sebelumnya	48

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	57
3.2 Material yang Digunakan	59
3.3 Alat.....	60
3.4 Variabel Percobaan	64
3.5 Prosedur Percobaan	65
3.5.1 Prosedur Pengecoran	65
3.5.2 Preparasi Cetakan	70
3.6 Proses Pengujian	71
3.6.1 Pengujian Komposisi Kimia	71
3.6.2 Pengujian Struktur Mikro	72
3.6.3 Pengujian Kekerasan	73
3.6.4 Pengujian Fasa.....	73
3.6.5 Pengujian Tarik.....	74
3.6.6 Pengujian Porositas.....	75

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan Hasil Peleburan Paduan Cu-Al-Ni.....	77
4.2 Komposisi Kimia Paduan Cu-Al-Ni.....	79
4.3 Pengamatan Hasil XRD Paduan Cu-Al-Ni.....	80
4.4 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Cu-Al-Ni.....	82
4.5 Pengujian Porositas Paduan Cu-Al-Ni.....	85
4.6 Pengujian Kekerasan Paduan Cu-Al-Ni	86
4.7 Pengujian Kekuatan Tarik Paduan Cu-Al-Ni	88

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	93

DAFTAR PUSTAKA	xxi
-----------------------------	------------

LAMPIRAN.....	xxiii
----------------------	--------------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kapal Tangker yang mengangkut minyak mentah (Sumaryanto, 2013).....	5
Gambar 2.2 Kapal Perang Jenis <i>Destroyer</i> (Sumaryanto, 2013).....	6
Gambar 2.3 Kapal Rumah Sakit (Sumaryanto, 2013).....	7
Gambar 2.4 Sistem Propulsi Kapal yang terdiri dari motor induk, penyalur tenaga dan propulsor (Adji, 2001)	xx
Gambar 2.5 Layar yang merupakan salah satu jenis propulsor non mekanik (Adji,2001)	8
Gambar 2.6 <i>The Propulsion of ship</i> (Alpha, 2012)	10
Gambar 2.7 <i>Type Propeller</i> (Alpha, 2012)	11
Gambar 2.8 <i>Nickel Aluminum bronze propeller</i> (CDA, 2016)	12
Gambar 2.9 Struktur FCC Kristal Tembaga (D. callister, 2014)	14
Gambar 2.10 Struktur FCC Kristal Aluminium (D. callister, 2014)	17
Gambar 2.11 Struktur FCC Kristal Nikel (D. callister, 2014). 19	
Gambar 2.12 Diagram fase Al-Cu (ASM Handbook Vol 3 Alloy Phase Diagrams, 1992).....	21
Gambar 2.13 Diagram Fasa Cu-Al-Ni (Wang, 2002)	22
Gambar 2.14 Proses Pengecoran Cetakan Permanen (Sudjana, Hadi. 2008).....	26
Gambar 2.15 Komposisi <i>Clay</i> (Rao, 2001)	27
Gambar 2.16 Komposisi air (Rao, 2001)	27
Gambar 2.17 Elemen <i>gating systems</i> (Rao, 2001)	28
Gambar 2.18 <i>Pouring Bashin</i> (Rao, 2001).....	29
Gambar 2.19 Ukuran <i>sprue</i> dan <i>pouring bashin</i> (Rao, 2001) .	30
Gambar 2.20 Tipe <i>sprue</i> (Rao, 2001).....	31
Gambar 2.21 Tipe <i>runner</i> (a) <i>Runner full</i> ; (b) <i>Runner partially full</i> (Rao, 2001)	33
Gambar 2.22 Tipe <i>ingate</i> (a) <i>Top gate</i> ; (b) <i>Bottom gate</i> ; (c) <i>Parting gate</i> ; (d) <i>Step gate</i> (P N. Rao, 2001).....	34

Gambar 2.23	Grafik metode caine's (Rao, 2001).....	36
Gambar 2.24	Grafik metode <i>Naval Research Laboratory</i> (Rao, 2001)	37
Gambar 2.25	Jangkauan satu <i>riser</i> (P N. Rao, 2001)	38
Gambar 2.26	Jangkauan <i>riser</i> yang ditambahkan <i>chill</i> (Rao, 2001)	38
Gambar 2.27	Porositas gas (Wibowo, 2011).....	45
Gambar 2.28	<i>Crucible</i> (Brown John, 1999)	47
Gambar 2.29	Hasil Pengujian DTA setelah proses <i>anealing</i> (a) Cu-9% wt.Al-4wt.% Ag (b) Cu-10wt.% Al-4wt.% Ag (c) Cu-11 wt.% Al-4wt.% Ag . Heating Rate 20oC min-1. (Ardono, Benedetti, & Da Silva, 2003)	49
Gambar 2.30	Hasil pengujian OM dengan pembesaran 500x (a) Cu-9% wt.Al-4wt.% Ag (b) Cu-10wt.% Al-4wt.% Ag (c) Cu-11 wt.% Al-4wt.% Ag . (Ardono, Benedetti, & Da Silva, 2003)	50
Gambar 2.31	Hasil pengujian XRD (a) Cu-9% wt.Al-4wt.% Ag (b) Cu-10wt.% Al-4wt.% Ag (c) Cu-11 wt.% Al-4wt.% Ag. (Ardono, Benedetti, & Da Silva, 2003)	51
Gambar 2.32	Pola XRD Paduan Cu-Ni.....	52
Gambar 2.33	Pengaruh Penambahan Unsur Ni terhadap Nilai <i>Ultimate Tensile Strength</i> Paduan Cu-Ni.....	53
Gambar 2.34	Pengaruh Penambahan Unsur Ni terhadap Nilai Kekerasan Paduan Cu-Ni.....	54
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	57
Gambar 3.2	Tembaga (Cu)	59
Gambar 3.3	Aluminium (Al).....	60
Gambar 3.4	Nikel (Ni)	60
Gambar 3.5	Tungku Bakar (<i>Burner</i>)	61
Gambar 3.6	Krusibel Grafit	61
Gambar 3.7	Spesimen Uji Tarik	62
Gambar 3.8	Timbangan Digital	63

Gambar 3.9	Skema Peleburan dengan <i>Crucible Furnace</i>	70
Gambar 3.10	Cetakan Pasir Pada Proses Pengecoran	71
Gambar 3.11	Prinsip Pengujian Komposisi Kimia.....	72
Gambar 3.12	Alur Sinar Pada Pengamatan Metallografi	73
Gambar 3.13	Mesin Universal Hardness Tester HBRV 187,5 A	73
Gambar 3.14	Prinsip Kerja XRD	74
Gambar 3.15	Mesin Uji Tarik.....	75
Gambar 4.1	Hasil Coran Paduan Cu-Al-Ni (a) Cu-5Al-3Ni (b) Cu-10Al-3Ni (c) Cu-15Al-3Ni (d) Cu-20Al-3Ni	76
Gambar 4.2	<i>Cross Section</i> Hasil Coran Paduan Cu-Al-Ni (a) Cu- 5Al-3Ni (b) Cu-10Al-3Ni (c) Cu-15Al-3Ni (d) Cu- 20Al-3Ni	77
Gambar 4.3	Pola XRD Paduan Cu-Al-Ni	81
Gambar 4.4	Pengamatan Struktur Mikro Paduan Cu-Al-Ni (a) Cu-4,7Al-Ni perbesaran 100x (b) Cu-10Al-Ni perbesaran 100x (c) Cu-13Al-Ni perbesaran 100x (d) Cu-17,07Al-Ni perbesaran 100x.....	83
Gambar 4.5	Pengaruh Penambahan Unsur Al terhadap Nilai Kekerasan Paduan Cu-Al-Ni	87
Gambar 4.6	Pengaruh Penambahan Unsur Al terhadap Nilai <i>Ultimate Tensile Strength</i> Paduan Cu-Al-Ni.	90

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar spesifikasi <i>marine Nickel Aluminum Bronze propeller</i> (propellerpages.com)	11
Tabel 2.2 Data dasar tembaga (P. Groover, 2010)	13
Tabel 2.3 Klasifikasi <i>Cast Alloys</i> (ASM International, 2001)..	15
Tabel 2.4 Data dasar Aluminum (P. Groover, 2010)	16
Tabel 2.5 Data dasar nikel (P. Groover, 2010).....	18
Tabel 2.6 Aplikasi Paduan Nikel Bidang Aplikasi (ASM International, 2001)	20
Tabel 2.7 <i>Ratio gating system</i> (Rao, 2001)	32
Tabel 2.8 Volume penyusutan liquid (Rao, 2001)	35
Tabel 2.9 <i>Shrinkage allowance</i> untuk beberapa logam (Rao, 2001)	39
Tabel 2.10 Nilai <i>draft pattern</i> (Rao, 2001)	41
Tabel 2.11 Machining allowance (Rao, 2001)	42
Tabel 3.1 Perhitungan <i>Gating</i> Sistem	68
Tabel 3.2 Komposisi <i>raw material input</i>	69
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Paduan Cu-Al-Ni (% wt).....	79
Tabel 4.2 % Luas Area α dan β pada Paduan Cu-Al-Ni	84
Tabel 4.3 Jumlah Porositas Paduan Paduan Cu-Al-Ni	85
Tabel 4.4 Nilai Kekerasan Paduan Cu-Al-Ni	86
Tabel 4.5 Nilai Ultimate Tensile Strength Paduan Cu-Al-Ni...	88
Tabel 4.6 Standar spesifikasi <i>marine propeller</i> dengan Paduan Cu-Al-Ni	91

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tembaga (Cu) merupakan logam *non ferrous* yang banyak digunakan sebagai paduan. Pada dasarnya logam tembaga murni memiliki kekerasan dan kekuatan yang kurang baik, tetapi memiliki sifat ketahanan korosi dan kemampuan menghantarkan panas (konduktor) yang baik. Karena kekurangan dan kelebihan yang dimiliki tembaga sehingga untuk meningkatkan kekuatan mekanik dan kualitas dari tembaga maka tembaga sering kali ditambahkan unsur-unsur tertentu sehingga menghasilkan paduan tembaga. Unsur-unsur yang sering ditambahkan antara lain Zn, Sn, Al, Ni, Si dan Be. Paduan tembaga-aluminium disebut juga dengan *Aluminum Bronze*. Salah satu aplikasi dari paduan perunggu aluminium ini adalah sebagai *propeller*, karena paduan perunggu aluminium memiliki kekuatan dan ketahanan korosi yang baik. (Groover, 2010)

Propeller merupakan salah satu komponen kapal berbentuk sekelompok sayap bengkok yang berputar agar menciptakan arah dari resultan gaya untuk mendorong kapal ke depan. *Propeller* berfungsi untuk mengubah gaya rotasi dari mesin menjadi gaya propulsif sebagai gaya dorong (*thrust*) untuk kapal. Seperti diketahui, *propeller* berada di luar kapal dan di bawah permukaan air. Karena air tetap diam, maka gaya dorong yang dihasilkan *propeller* tersebut dikembalikan kembali atau terjadi gaya reaksi. Gaya reaksi ini disalurkan sepanjang poros *propeller* dan menghasilkan gaya dorong bagi kapal, sehingga tergantung arah putaran *propeller*, kapal dapat bergerak maju ataupun mundur. Material yang umum digunakan dalam *propeller* antara lain paduan perunggu aluminium, kuningan, dan stainless steel dengan tipe 13Cr4Ni. (Sokolov, 1960)

Peluang pengembangan material *propeller* ini dapat dimanfaatkan oleh paduan perunggu aluminium. Beberapa penelitian tentang peningkatan sifat mekanik paduan perunggu



aluminum telah dilakukan. Metode yang paling banyak digunakan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan perunggu aluminum adalah dengan menambahkan unsur paduan lain seperti nikel, besi, mangan atau silicon dalam jumlah yang tertentu.

Pada penelitian kali ini, paduan perunggu Al dengan komposisi 3% nikel akan divariasikan komposisi kandungan Al nya sebesar 5, 10, 15, 20% berat dengan menggunakan metode pengecoran.. Kemudian akan dilakukan pengujian untuk membandingkan pengaruh kandungan Al terhadap nilai kekerasan, kekuatan tarik dan struktur mikro dari paduan Cu-Al-Ni.

1.1. Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan aluminum pada struktur mikro paduan Cu-Al-Ni?
2. Bagaimana pengaruh penambahan aluminum terhadap sifat kekuatan tarik pada paduan Cu-Al-Ni?
3. Bagaimana pengaruh penambahan aluminum terhadap sifat kekerasan pada paduan Cu-Al-Ni

1.2. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Distribusi paduan dianggap homogen.
2. Tekanan dianggap konstan pada saat proses peleburan.
3. Kekuatan cetakan dan kekasaran permukaan cetakan pasir dianggap telah memenuhi persyaratan.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh penambahan aluminum terhadap struktur mikro paduan Cu-Al-Ni.
2. Menganalisis pengaruh penambahan aluminum terhadap sifat kekuatan tarik pada paduan Cu-Al-Ni.
3. Menganalisis pengaruh penambahan aluminum terhadap sifat kekerasan pada paduan Cu-Al-Ni.



1.4. Manfaat penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui pengaruh penambahan aluminum terhadap struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan tarik paduan Cu-Al-Ni sehingga dapat menghasilkan produk paduan Cu-Al-Ni yang memiliki sifat mekanik yang baik dan dapat digunakan dalam pengembangan penelitian selanjutnya.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal

2.1.1 Umum

Kapal adalah kendaraan pengangkut penumpang dan barang di laut (sungai dsb) seperti halnya sampan atau perahu yang lebih kecil. Kapal biasanya cukup besar untuk membawa perahu kecil seperti sekoci. Sedangkan dalam istilah inggris, dipisahkan antara ship yang lebih besar dan boat yang lebih kecil (Sumaryanto, 2013).

Pengelompokan tipe kapal menurut fungsinya dapat dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu:

- Kapal niaga dan komersil: antara lain adalah kapal angkut, kapal penumpang, kapal ikan dan kapal tunda. Kapal angkut bisa berupa kapal cargo, kapal container, maupun semi container (perpaduan antara kapal cargo dan container), kapal feri dan juga kapal tangker (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Kapal Tangker yang Mengangkut Minyak Mentah
(Sumaryanto, 2013)



- Kapal perang: Kapal perang diklasifikasi menjadi beberapa tipe antara lain kapal tempur (Gambar 2.1), patroli, kapal pendukung. Ada juga kapal perang yang dibuat secara khusus seperti kapal induk yang mengangkut pesawat dalam jumlah besar, helicopter, tank dan peralatan tempur lainnya. Kapal lain yang dirancang secara khusus antara lain kapal peluncur peluru kendali, kapal penghancur dan kapal selam.



Gambar 2.2 Kapal Perang Jenis Destroyer (Sumaryanto, 2013)

- Kapal-kapal Khusus : Kapal yang mempunyai tugas khusus, artinya bukan untuk pengangkutan, disebut juga sesuai dengan tugas pekerjaan yang dilaksanakan. Berikut ini adalah jenis jenis kapal khusus Kapal Keruk (dredger), Kapal Penangkap Ikan, Kapal Pemadam Kebakaran, Kapal Peneliti dan Kapal Rumah Sakit (Gambar 2.3) (Sumaryanto, 2013).



Gambar 2.3 Kapal Rumah Sakit (Sumaryanto, 2013)

2.1.2 Propulsi Kapal

Dalam operasinya, kapal dituntut untuk memiliki kemampuan mempertahankan kecepatan seperti yang direncanakan dalam hal ini kecepatan yang dimaksud adalah kecepatan saat pelayanan (V). Hal ini berarti kapal harus mempunyai rancangan sistem propulsi (penggerak) yang dapat melawan gaya hambat yang dialami kapal. (Adji, 2001)



Gambar 2.4 Sistem Propulsi Kapal yang terdiri dari motor induk, penyalur tenaga dan propulsor (Adji, 2001)

Propulsi Kapal (Gambar 2.4) terdiri dari 3 komponen utama yaitu Motor Penggerak, Sistem transmisi dan Alat Gerak (propulsor). Ketiga komponen ini merupakan satu kesatuan yang dalam perancangannya tidak dapat ditinjau terpisah. Kesalahan perancangan pada satu komponen, dapat menyebabkan terjadinya kegagalan seluruh sistem. Konsekuensinya dapat terjadi hal hal sebagai berikut :

1. Tidak tercapainya kecepatan yang direncanakan.
2. Konsumsi bahan bakar yang tidak efisien.
3. Turunnya nilai ekonomis dari kapal tersebut.
4. Mempengaruhi tingkat vibrasi dan sebagainya. (Adji, 2001)

2.1.3 Propulsor

Propulsor merupakan alat gerak yang digunakan dalam sistem propulsi kapal. Propulsor dapat dibagi menjadi 2 yaitu alat gerak kapal mekanik dan non mekanik.



Gambar 2.5 Layar yang merupakan salah satu jenis propulsor non mekanik (Adji, 2001)

Propulsor non mekanik contohnya adalah dayung maupun layar (Gambar 2.5). Sedangkan propulsor mekanik contohnya adalah sebagai berikut :

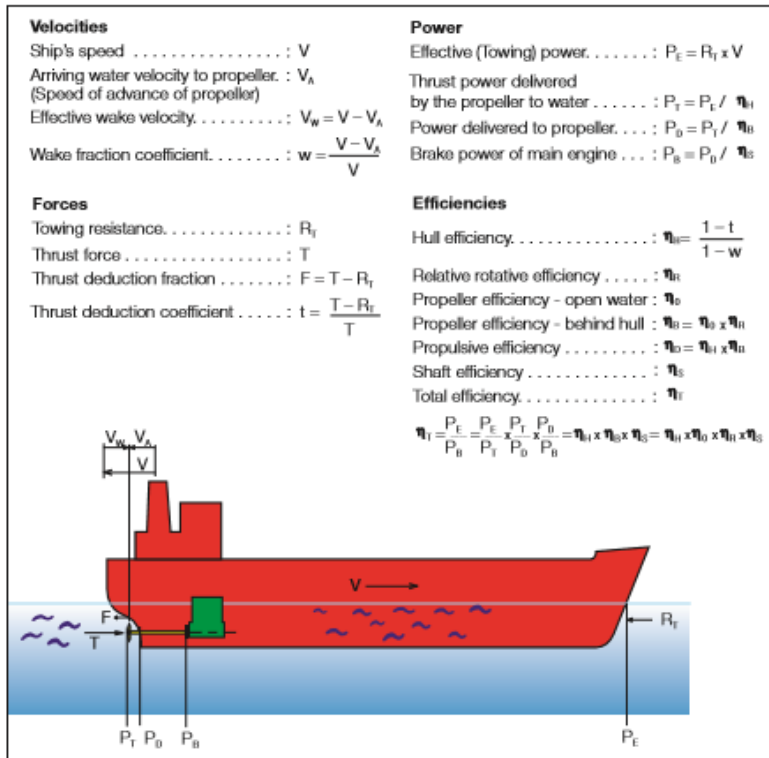
1. Fixed Pitch Propeller
2. Ducted Propeller
3. Contra-Rotating Propeller
4. Overlapping propeller
5. Controllable Pitch Propeller
6. Waterjet Propulsion System
7. Cyclodial Propeller
8. Paddle Wheels
9. Superconducting Electric Propulsion System
10. Azimuth Podded Propulsion System
11. Rim Driven Propeller (Adji, 2001)

2.2 Propeller Kapal

Propeller merupakan alat yang digunakan untuk menggerakkan kapal. Jumlah propeller pada kapal terkadang berjumlah dua dan beberapa kapal tertentu bisa lebih dari dua. Gaya dorong (T) yang dibutuhkan agar kapal dapat melaju dengan



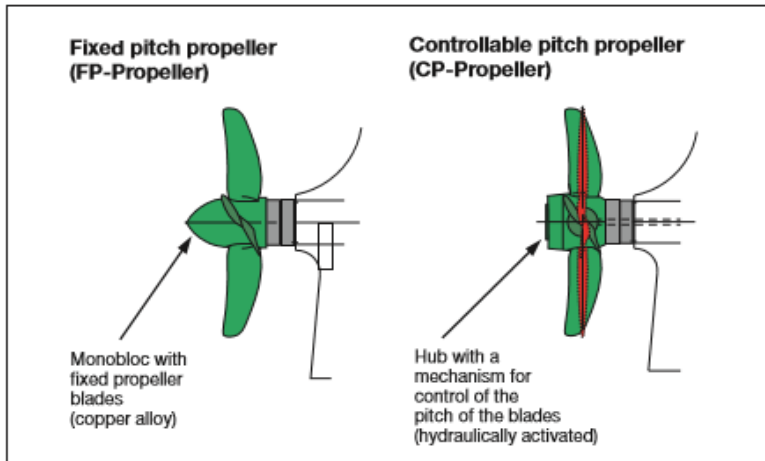
kecepatan (V) harus lebih besar daripada hambatan (R_T) oleh air. Gambar 2.6 menunjukkan perhitungan gaya-gaya yang berkerja saat kapal bergerak.



Gambar 2.6 The Propulsion of ship (Alpha, 2012)

Propeller dibagi kedalam 2 kelompok (Gambar 2.7) :

1. Fixed pitch propeller (FP-propeller)
2. Controllable pitch propeller (CPpropeller)



Gambar 2.7 Type Propeller (Alpha, 2012)

Propeller tipe FP dicetak dalam satu cetakan dan umumnya terbuat dari paduan tembaga. Propeller dengan tipe FP umumnya digunakan pada kapal yang tidak membutuhkan manuver tertentu. Material Propeller pada umumnya terbuat dari Nickel Aluminum Bronze (Gambar 2.8), Manganese Bronze dan Stainless Steel. Berikut Tabel 2.1 menunjukkan spesifikasi dari FP propeller dari paduan tembaga.

Tabel 2.1 Standar spesifikasi *marine Nickel Aluminum Bronze propeller* (propellerpages.com)

Sifat Mekanik	Nilai
Yield	35 – 43.000 psi
Tensile	80 – 95.000 psi
% Elong in 2"	20 – 35
Brinell hardness	152 – 190
Fatigue – air	21 – 25.000 psi
Fatigue – salt water	18 – 22.000 psi
Density – lb/cu in	0,273



Gambar 2.8 *Nickel Aluminum bronze propeller* (CDA, 2016)

Propeller tipe CP memiliki ruang untuk mengatur pitch dari baling baling dengan mekanisme hidraulik sehingga bisa disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan operasi. Harga dari propeller tipe CP bisa 2 hingga 3 kali lebih mahal daripada tipe FP (Alpha, 2012).

2.3 Tembaga (Cu)

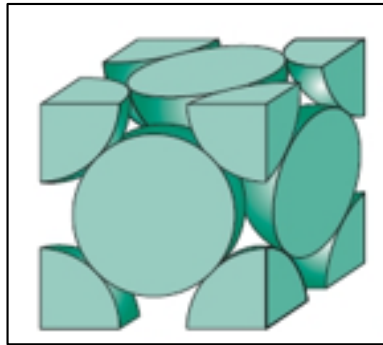
Tembaga merupakan unsur kimia yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Struktur kristal dari atom tembaga yaitu FCC (Gambar 2.9). Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Tembaga murni memiliki sifat yang halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Tembaga memiliki ketahanan korosi yang baik dan digolongkan kedalam logam mulia. Proses ekstraksi dari logam tembaga yaitu dari ore nya berupa *chalcopyrite* (CuFeS_2) yang kemudian dilakukan proses crushing, floating dan terakhir di smelting. Proses ini



menghasilkan blister copper yang kemurniannya sekitar 98-99%. Untuk menaikkan kadar kemurnian dari hasil smelting maka dilakukan proses elektrolisis sehingga mencapai kadar 99%. (Groover, 2010). Berikut Tabel 2.2 menampilkan data logam tembaga.

Tabel 2. 2 Data dasar tembaga (P. Groover, 2010)

Tembaga	
Simbol	Cu
Nomor Atom	29
Spesifik Gravity	8.96
Struktur Kristal	FCC
Temperatur Melting	1083 °C (1981 °F)
Modulus Elastis	110,000 Mpa (16 x 10 ⁶ lb/in ²)
Ore Ekstraksi Dari	<i>chalcopryrite</i> (CuFeS ₂), <i>azurite</i> (Cu ₃ [OH-Co ₃] ₂), <i>malachite</i> (Cu ₂ [OH-Co ₃] ₂), dan <i>cuprite</i> (Cu ₂ O)
Elemen Paduan	Tin (bronze), zinc (brass), aluminium, silicon, nikel, dan beryllium
Aplikasi	Komponen konduktor listrik, wajan dan panic, perhiasan. Aplikasi kelautan, Heat-exchanger, spring (Be-Cu), dan komponen perpipaan



Gambar 2.9 Struktur FCC Kristal Tembaga (D. callister, 2014)

Tembaga memiliki temperatur lebur sebesar 1083°C dan temperatur didih sebesar 2582°C . Dengan massa jenis sebesar $8,96 \text{ gr/cm}^3$ pada temperatur kamar, tembaga memiliki massa jenis tiga kali lebih berat daripada aluminium. Konduktivitas termal dan listriknya memang lebih kecil dibandingkan dengan perak, akan tetapi satu setengah kali lebih besar daripada aluminium. Secara sifat mekanik, tembaga memiliki kekuatan tarik sebesar 210 N/mm^2 (annealed) dan kekerasan 50 DPN (annealed). Akan tetapi kekerasannya dapat ditingkatkan menjadi sebesar 100 DPN jika dilakukan cold work. (Ross, Robert., 1992)

Tembaga dicampurkan dengan unsur tertentu untuk menghasilkan paduan tembaga yang memiliki sifat mekanik yang sesuai dengan kebutuhan. Kuningan merupakan paduan antara tembaga dengan seng, perunggu merupakan paduan tembaga dengan timah, paduan tembaga aluminium dinamakan perunggu aluminium, dan paduan tembaga dengan silikon dinamakan perunggu silikon. Berikut Tabel 2.3 menunjukkan macam macam paduan tembaga dan komposisinya.



Tabel 2. 3 Klasifikasi Cast Alloys (ASM International, 2001)

Cast Alloys	No.UNS	Komposisi
<i>Coppers (a)</i>	C80100-C81200	> 99% Cu
<i>High-copper alloys (d)</i>	C81400-C82800	> 94% Cu
<i>Red and leaded red brasses</i>	C83300-C83810	Cu-Sn-Zn-Pb (82-94% Cu)
<i>Semi-red and leaded semi-red brasses</i>	C84200-84800	Cu-Sn-Zn-Pb (75-82% Cu)
<i>Yellow and leaded yellow brasses</i>	C85200-C85800	Cu-Zn-Pb
<i>Manganese bronzes and leaded manganese bronzes (e)</i>	C86100-C86800	Cu-Zn-Mn-Fe-Pb
<i>Silicon brasses/bronzes</i>	C87300-C87800	Cu-Zn-Si
<i>Copper-bismuth and copper-bismuth-selenium alloys</i>	C89320-C89940	Cu-Sn-Bi-Se
<i>Tin bronzes</i>	C90200-C91700	Cu-Sn-Zn
<i>Leaded tin bronzes</i>	C92200-94500	Cu-Sn-Zn-Pb
<i>Nickel-tin bronzes</i>	C94700-C94900	Cu-Ni-Sn-Zn-Pb
<i>Aluminium bronzes</i>	C95200-C95900	Cu-Al-Fe-Ni
<i>Copper nickels</i>	C96200-C96950	Cu-Ni-Fe
<i>Nickel silvers</i>	C97300-C97800	Cu-Ni-Zn-Pb-Sn
<i>Leaded coppers</i>	C98200-C98840	Cu-Pb
<i>Special alloys</i>	C99300-C99750	Cu-Zn-Mn-Al-Fe-Co-Sn-Pb

2.4 Aluminium (Al)

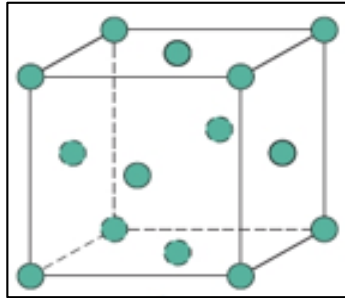
Aluminium merupakan unsur kimia yang memiliki lambang Al dan nomor atom 13. Struktur kristal dari atom tembaga yaitu FCC (Gambar 2.10). Proses ekstraksi dari logam aluminium yaitu dari ore nya berupa *Bauxite* (Al_2O_3 dan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang



kemudian dilakukan proses crushing. Kemudian dilakukan bayer proses yaitu mengubah bauxite menjadi alumina dan terakhir dilakukan elektrolisis untuk memisahkan aluminum dari oksigen (Groover, 2010). Berikut Tabel 2.4 menampilkan data logam aluminium.

Tabel 2.4 Data dasar Aluminum (P. Groover, 2010)

Aluminum	
Simbol	Al
Nomor Atom	13
Spesifik Gravity	2.7
Struktur Kristal	FCC
Temperatur Melting	660 °C (1220 °F)
Modulus Elastis	69,000 Mpa (10 x 10 ⁶ lb/in ²)
Ore Ekstraksi Dari	<i>Bauxite</i> (impure mix of Al ₂ O ₃ and Al(OH) ₃)
Elemen Paduan	Copper, magnesium, manganese, silicon, dan timah
Aplikasi	Containers (kaleng aluminum), wrapping foil, electrical conductors, pots dan panci, bagian konstruksi, aerospace, automotive, dan aplikasi lainnya yang membutuhkan material yang ringan.



Gambar 2.10 Struktur FCC Kristal Aluminium (D. callister, 2014)

Aluminium adalah elemen logam kedua terbanyak di dunia. Sebanyak 8 % dari kulit bumi tersusun dari aluminium, unsur ini biasa ditemukan dalam bentuk oksida yang dikenal sebagai bauksit. Aluminium menjadi logam *non-ferrous* terbanyak yang digunakan dalam basis volume. Aluminium dan paduannya memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah kekuatannya yang tinggi jika dibandingkan dengan beratnya, tahan terhadap korosi, tidak beracun, mudah dibentuk dan di *machining*, non magnetic. Penggunaan aluminium dan paduannya diantaranya untuk aplikasi arsitektur dan structural, transportasi (pesawat dan aplikasi *aerospace*) aplikasi elektrik (sebagai konduktor elektrik non magnetic dan ekonomis), peralatan rumah tangga (Kalpakjian, 2009).

Sifat mekanik dari aluminium dapat ditingkatkan dengan paduan, dengan *strain hardening*, perlakuan termal, atau kombinasi dari ketiganya. Tembaga, Magnesium, Mangan, Silikon, dan Zinc digunakan sebagai konstituen utama dalam paduan aluminium. Krom, timbal, nikel, dan elemen lain digunakan untuk tujuan special sebagai konstituen minor. Pengotor seperti besi akan mempengaruhi performa dari paduan aluminium dan harus dipertimbangkan. Aluminium murni dapat diperkuat dengan memadukannya dengan Mn dalam jumlah kecil (hingga 1.25%) dan Magnesium (hingga 3.5%). Paduan ini dan aluminium



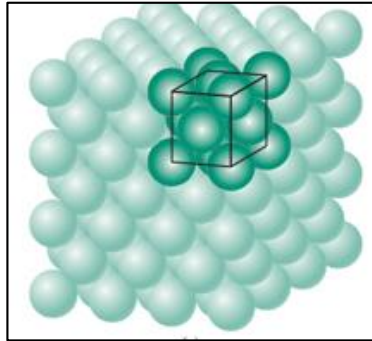
murni dapat dikeraskan dengan *cold work* hingga kekuatan tariknya 200 sampai 300 MPa (Roberge, 2000).

2.5 Nickel (Ni)

Nickel merupakan unsur kimia yang memiliki lambang Ni dan nomor atom 28. Struktur kristal dari atom nickel yaitu FCC (Gambar 2.11). Nikel mirip dengan besi dalam berbagai hal seperti sifat magnetik dan modulus elastisitas, akan tetapi nikel memiliki ketahanan korosi dan ketahanan terhadap temperatur tinggi yang lebih baik. Karena sifat ketahanan korosi yang baik sehingga nikel sering digunakan sebagai bahan paduan seperti pada stainless steel dan pada baja karbon (Groover, 2010). Tabel 2.5 menunjukkan sifat fisik dan sifat mekanik dari logam nikel.

Tabel 2.5 Data dasar nikel (P. Groover, 2010)

Nikel	
Simbol	Ni
Nomor Atom	28
Gravity Spesifik	8,90
Struktur Kristal	FCC
Temperatur Melting	1453 °C (2647 °F)
Modulus Elastis	209,000 Mpa (30×10^6 lb/in ²)
Ore Diekstraksi Dari	<i>Pentlandite</i> ((FeNi) ₉ S ₈)
Elemen Paduan	Tembaga, Kromium, Besi, Aluminium
Aplikasi	Bahan paduan stainless steel, pelapis logam untuk steel, aplikasi yang membutuhkan temperature tinggi dan ketahanan korosi yang tinggi



Gambar 2.11 Struktur FCC Kristal Nikel (D. callister, 2014)

Bijih nikel yang paling utama adalah pentlandite ($(\text{Ni}, \text{Fe})_9\text{S}_8$). Proses ekstraksi dari nikel yaitu pertama ore nikel di hancurkan (crushing) kemudian dilakukan permissahan sulfida dari pengotor melalui proses floating. Sulfida dipanaskan dengan tujuan mengurangi kandungan sulfur dan kemudian dilakukan proses smelting untuk menghilangkan unsur besi dan silikon. Proses pemurnian selanjutnya dilakukan dengan metode *bessemer* sehingga menghasilkan nickel sulfide (NiS) (Groover, 2010).

Nikel dan paduannya digunakan dalam berbagai aplikasi, dimana sifat yang paling umum digunakan melibatkan ketahanan korosi dan/atau ketahanan panasnya. Contoh paduan nikel yang digunakan karena ketahanan panasnya adalah paduan nikel-krom. Nikel-krom yang didalamnya terdapat unsur 15% Cr biasanya digunakan untuk ketahanan oksidasi dan karburisasi pada temperatur 760°C . Kadar krom mendorong untuk terbentuknya lapisan pelindung oksida. Aplikasi pada bidang industri paduan nikel-krom dapat dijumpai pada alat alat pembangkit tenaga seperti turbin dan boiler. Untuk lebih jelasnya pada Tabel 2.6 terdapat beberapa aplikasi lain yang umum dari penggunaan nikel serta paduannya (ASM International, 2001)

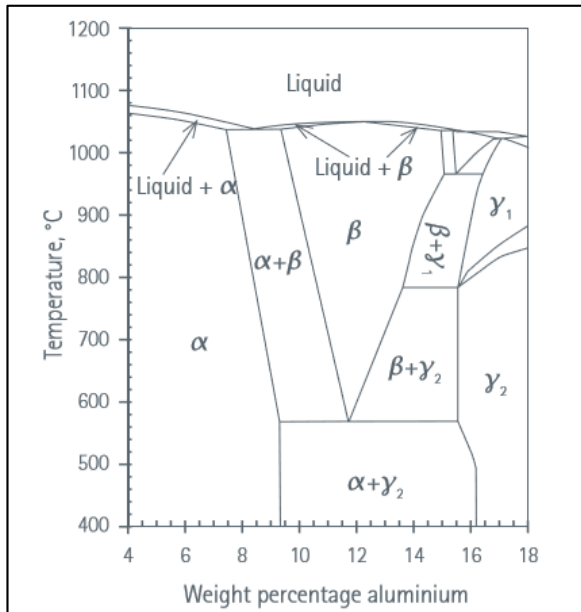


Tabel 2.6 Aplikasi Paduan Nikel Bidang Aplikasi (ASM International, 2001)

Bidang Aplikasi	Contoh Equipment
<i>Aircraft gas turbines</i>	casing, shafts, exhaust systems
<i>Steam turbine power plants</i>	baut, pisau turbin, stack gas reheaters
<i>Reciprocating Engines</i>	hot plugs, valve seat inserts
<i>Space vehicles</i>	aerodynamically heated skins
<i>Heat-treating equipment</i>	trays, fixtures, conveyor belts, baskets
<i>Chemical and petrochemical industries</i>	bolts, fans, valves, reaction vessels,

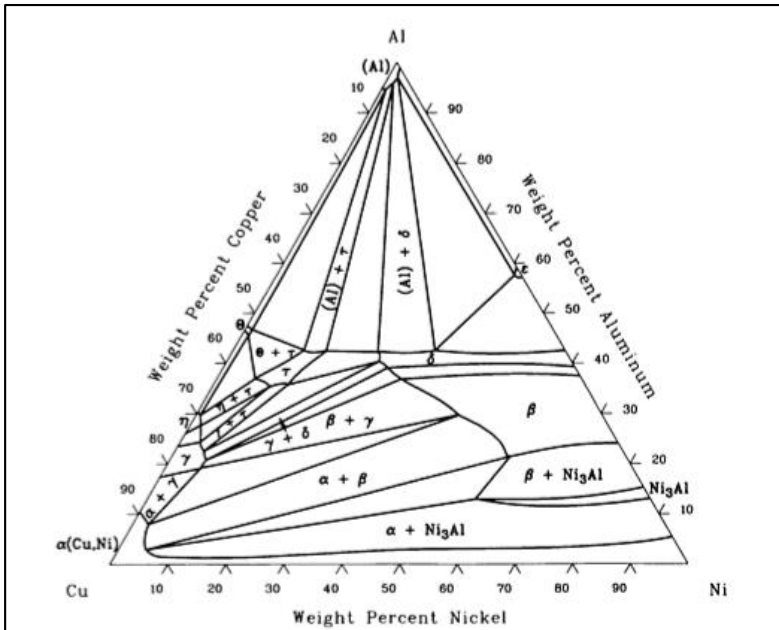
2.6 Paduan Aluminium Bronze (Cu-Al)

Paduan ini mengandung aluminium antara 3% hingga 12%. Penambahan aluminium meningkatkan kekuatan dari tembaga dan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan alumina pada permukaan. Besi, silikon, nikel dan mangan ditambahkan ke perunggu aluminium untuk mendapatkan kekuatan atau ketahanan korosi yang lebih tinggi. Perunggu aluminium dikenal dengan ketahanan korosi dikombinasikan dengan sifat mekanik yang baik. Pada proses pengecoran penambahan aluminium juga dapat meningkatkan castability (CDA, 1994). Berikut Gambar 2.12 menunjukan diagram fase dari Al-Cu



Gambar 2.12 Diagram fase Al-Cu (ASM Handbook Vol 3 Alloy Phase Diagrams, 1992)

Paduan C95200, dengan aluminium sekitar 9,5%, menghasilkan kekuatan tarik 80 ksi (550 MPa). Paduan C95400 dan C95500, yang mengandung aluminium sekitar 10%, dapat di-*quenching* dan di-*tempered* sehingga dapat menghasilkan kekuatan tarik masing-masing 105 ksi (724 MPa) dan 120 ksi (827 MPa). Ketahanan paduan perunggu nikel-aluminium terhadap korosi oleh air laut sangat tinggi. Karena ketahanannya yang baik terhadap erosi, korosi dan kavitasi, C95500 tembaga nikel-aluminium banyak digunakan untuk propeller dan perangkat keras laut lainnya (CDA, 1994). Berikut Gambar 2.13 diagram fasa tembaga nikel aluminium



Gambar 2.13 Diagram fase Cu-Al-Ni pada temperatur 500°C
(ASM Handbook Vol 3 Alloy Phase Diagrams, 1992)

2.7 Jenis Jenis Paduan Aluminium Bronze

Pada aluminium bronze dengan komposisi aluminium antara 5% hingga 14% unsur unsur yang sering ditambahkan antara lain nickel, besi, mangan, silicon dan timah. Sifat mekanik dari paduan umumnya tergantung pada komposisi dari aluminium. Berikut 4 jenis paduan aluminium antara lain:

1. Paduan rendah (low alloy), terdiri dari satu fasa yaitu fase Alpha, paduan ini mengandung kurang dari 8% aluminium dan memiliki sifat keuletan yang baik. Paduan ini cocok untuk pengerjaan dingin (Cold work) menjadi pipa, sheet (lembaran), dan kawat. Penambahan unsur besi sebanyak 3% dan komposisi alumium 9% juga akan menghasilkan paduan yang memiliki satu fasa (fasa Alpha).



2. Paduan tinggi (high alloy), terdiri dari dua fasa (duplex), paduan ini memiliki komposisi aluminium antara 8 hingga 10% dan biasanya ditambahkan unsur besi dan nickel untuk meningkatkan kekuatan. Paduan tipe ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus. Penambahan unsur besi meningkatkan kekuatan dan berfungsi sebagai *grain refiner*; nikel meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan korosi.
3. Paduan tembaga-aluminium-silikon, atau perunggu silikon-aluminium. Paduan ini memiliki satu fasa yaitu fasa alpha sehingga memiliki sifat keuletan yang baik. Paduan yang memiliki kandungan silikon sekitar 2% dan aluminium sampai sekitar 6% dikenal sebagai perunggu aluminium-silikon; paduan ini lebih kuat daripada perunggu aluminium fase tunggal yang tidak dimodifikasi dan cocok untuk dilakukan pengerjaan panas (hot work). Seperti perunggu aluminium lainnya, paduan ini memiliki permeabilitas magnetik rendah dan ketahanan yang sangat baik terhadap beban kejut. Silikon juga meningkatkan machinability.
4. Paduan tembaga-mangan-aluminium, atau perunggu aluminium mangan. Paduan ini memiliki castability yang baik dan dikembangkan terutama untuk pembuatan baling-baling kapal. Mangan dengan kandungan sekitar 13%, adalah tambahan paduan utama dalam rangkaian perunggu aluminium mangan di mana tingkat aluminium berkisar antara 8 dan 9%. Meski tidak begitu kuat seperti perunggu aluminium lainnya, sifat pengecoran paduannya lebih baik. Paduan ini juga memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi, kavitasi dan dapat diberi perlakuan panas untuk membuat permeabilitas magnetiknya rendah. Paduan ini juga memiliki kemampuan las yang sangat baik. (Edwards & Whittaker, 1961)



2.8 Pengecoran

Pengecoran logam adalah proses pembuatan benda dengan mencairkan logam dan menuangkan ke dalam rongga cetakan. Proses ini dapat digunakan untuk membuat benda-benda dengan bentuk rumit. Benda berlubang yang sangat besar yang sangat sulit atau sangat mahal jika dibuat dengan metode lain, dapat diproduksi masal secara ekonomis menggunakan teknik pengecoran yang tepat.

Pengecoran logam dapat dilakukan untuk bermacam-macam logam seperti, besi, baja, paduan tembaga (perunggu, kuningan, perunggu aluminium dan lain sebagainya), paduan logam ringan (paduan aluminium, paduan magnesium, dan sebagainya), serta paduan lain, semisal paduan seng, monel (paduan nikel dengan sedikit tembaga), hasteloy (paduan yang mengandung molibdenum, krom, dan silikon), dan sebagainya.

Keuntungan proses pembentukan dengan pengecoran :

- Dapat mencetak bentuk kompleks, baik bentuk bagian luar maupun bentuk bagian dalam;
- Beberapa proses dapat membuat bagian (part) dalam bentuk jaringan;
- Dapat mencetak produk yang sangat besar, lebih berat dari 100 ton;
- Dapat digunakan untuk berbagai macam logam;
- Beberapa metode pencetakan sangat sesuai untuk keperluan produksi massal.

Setiap metode pengecoran memiliki kelemahan, tetapi secara umum kerugian proses pembentukan dengan pengecoran dapat disebutkan sebagai berikut :

- Keterbatasan sifat mekanik;
- Sering terjadi porositas;
- Dimensi benda cetak kurang akurat;
- Permukaan benda cetak kurang halus;
- Bahaya pada saat penuangan logam panas;
- Masalah lingkungan.

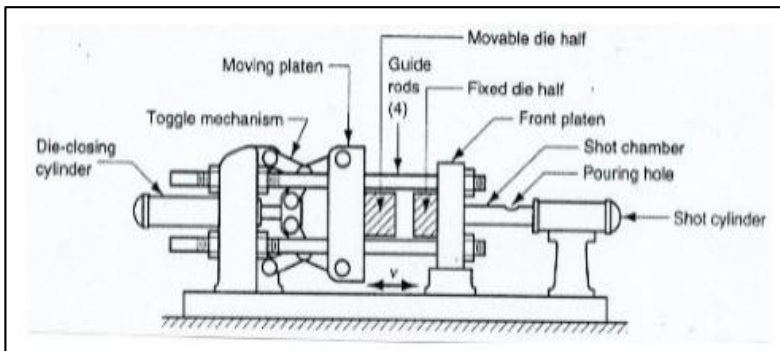


Menurut jenis cetakan yang digunakan proses pengecoran dapat diklasifikasikan menjadi dua katagori :

- Pengecoran dengan cetakan sekali pakai.
- Pengecoran dengan cetakan permanen.

Pada proses pengecoran dengan cetakan sekali pakai, untuk mengeluarkan produk corannya cetakan harus dihancurkan. Jadi selalu dibutuhkan cetakan yang baru untuk setiap pengecoran baru, sehingga laju proses pengecoran akan memakan waktu yang relatif lama. Tetapi untuk beberapa bentuk geometri benda cor tersebut, cetakan pasir dapat menghasilkan coran dengan laju 400 suku cadang perjam atau lebih.

Pada proses cetakan permanen, cetakan biasanya di buat dari bahan logam, sehingga dapat digunakan berulang-ulang. Dengan demikian laju proses pengecoran lebih cepat dibanding dengan menggunakan cetakan sekali pakai, tetapi logam coran yang digunakan harus mempunyai titik lebur yang lebih rendah dari pada titik lebur logam cetakan (Sudjana, Hadi. 2008).



Gambar 2.14 Proses Pengecoran Cetakan Permanen (Sudjana, Hadi. 2008)

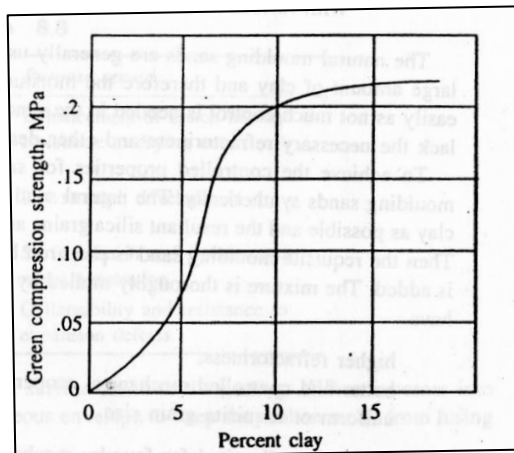
2.9 Sand Casting

Sand casting adalah salah satu proses pengecoran dengan metoda menuangkan logam cair kedalam cetakan pasir, cetakan pasir ini adalah rongga hasil pembentukan dengan mengikis

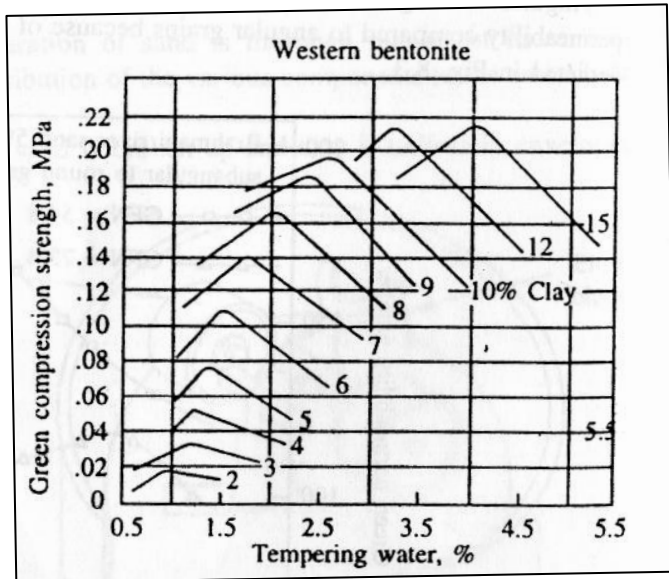


berbagai bentuk benda pada bongkahan dari pasir, kemudian rongga tersebut diisi dengan logam cair (Sudjana, 2008).

Pasir yang paling banyak digunakan yaitu pasir silica (SiO_2). Pasir ini sangat cocok untuk cetakan karena tahan temperatur tinggi tanpa terjadi pengurain, harganya murah, tahan lama dan butirnya mempunyai bermacam tingkat ukuran besar dan bentuk. Pasir silica murni tidak dapat dimanfaatkan untuk membuat cetakan karena tidak memiliki daya pengikat. Pencampuran lempung sebanyak 8 sampai 15% dapat meningkatkan daya ikatnya. Jenis lempung yang sering dimanfaatkan adalah kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan bentonite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Bentonite adalah sejenis abu vulkanik yang telah lapuk. Untuk metode dengan menggunakan green sand (pasir silica+air+clay) kekuatan ikatnya/*compression strength* yang harus di capai antara 100-250 Kpa. Untuk mendapatkan kekuatan tersebut, diperlukan campuran yang ideal. Pada Gambar 2.15 grafik yang menunjukkan hubungan antara *compression strength* dengan kandungan clay yang akan dicampur dan pada Gambar 2.16 grafik yang menunjukkan hubungan antara kandungan clay dan air dengan *compression strength*. (Rao, 2001)

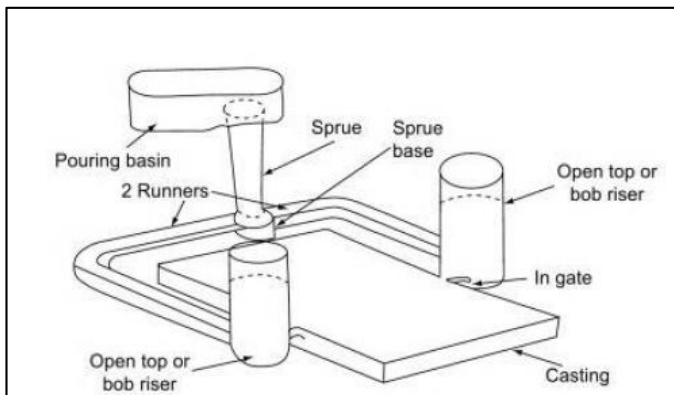


Gambar 2.15 Komposisi Clay (Rao, 2001)



Gambar 2.16 Komposisi air (Rao, 2001)

2.10 Gating Sistem

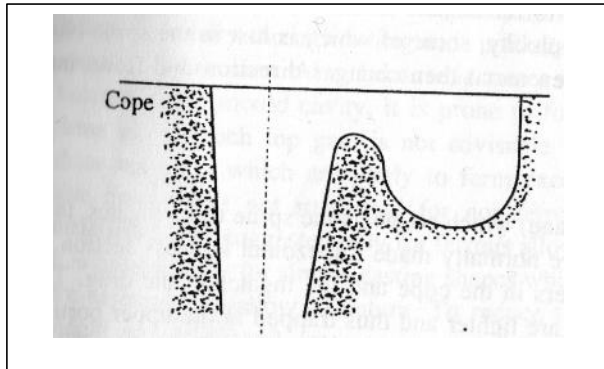


Gambar 2.17 Elemen gating systems (Rao, 2001)



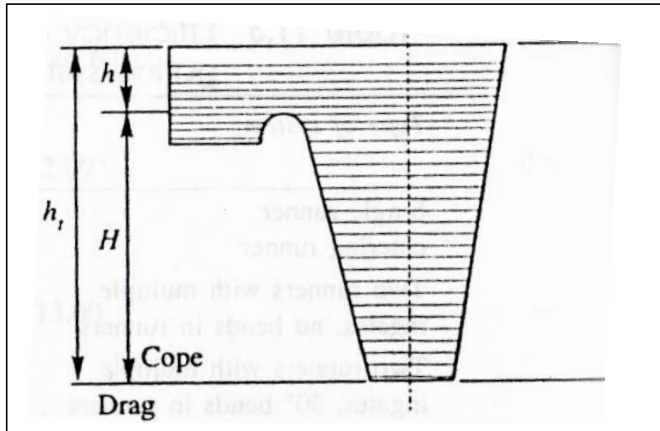
Pada Gambar 2.17 menunjukkan elemen *gating systems*. *Gating systems* merupakan seluruh elemen saling terkoneksi dengan logam cair dari ladle sampai ke cetakan. *Gating systems* terdiri dari:

a) Pouring basin



Gambar 2.18 Pouring Bashin (Rao, 2001)

Pada Gambar 2.18 menunjukkan desain pouring basin dimana D(diameter) dan R(radius). Logam cair tidak secara langsung dituangkan kedalam cetakan karena dapat menyebabkan erosi Logam cair. Logam cair dituangkan ke dalam pouring basin atau cawang tuang yang berfungsi sebagai wadah awal dan kemudian logam cair berpindah secara perlahan ke dalam sprue. Pouring basin dapat mencegah slag masuk kedalam rongga cetakan. Logam cair saat penuangan akan menghadapi metal momentum yang terserap dan membentuk pusaran yang dapat dihindarkan dengan membuat salah satu dinding pouring basin dimiringkan 45° terhadap horizontal. Dalam special aplikasi, pouring basin memiliki bagian yang dapat menjebak slag agar tidak masuk kedalam cetakan (Rao, 2001)



Gambar 2.19 Ukuran sprue dan pouring basin (Rao, 2001)

Pada Gambar 2.19 menunjukkan ukuran sprue dan pouring basin. Untuk mendapatkan luas area atas dari pouring basin maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$At = Ac \sqrt{\frac{ht}{h}} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$h_t = h + H \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana: H= Tinggi sebenarnya sprue (mm)
A_t= Luas area top (mm²)
A_c= Luas area choke (mm²)
h= Tinggi top (mm)
ht= tinggi seluruhnya (mm)

$$Ac = \frac{w}{d \ t \ c \sqrt{2 \ g \ h}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana: w= Massa coran (Kg)
d= Massa jenis logam cair (Kg/mm³)
g= Gravitasi (mm/s²)
H= Tinggi sprue (mm)
t= Waktu pouring (s)



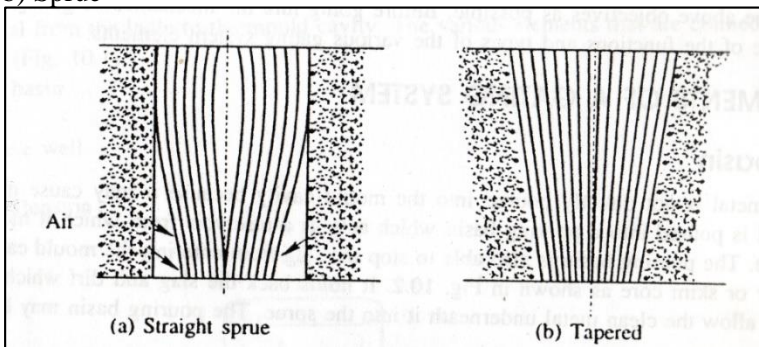
C= Efisiensi faktor (0,88)

Untuk pengecoran tembaga dan paduannya, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$t = K\sqrt[3]{w} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana: K= kostanta dengan
top gatting=1,3 ;
bottom gatting=1,8 ;
brass=1,9 ;
Tin bronze= 2,8 (P N. Rao, 2001).

b) Sprue



Gambar 2.20 Tipe sprue (Rao, 2001)

Sprue merupakan bagian yang meneruskan logam cair ke bagian lain atau tempat masuknya logam cair ke runner dan gate yang akhirnya logam cair akan masuk ke dalam rongga cetakan. Ketika logam cair mengalir dari atas cope ke parting plane, kecepatan aliran akan meningkat dan sebagai konsekuensinya membutuhkan area yang kecil untuk dilalui logam cair. Pada Gambar 2.20 menunjukan tipe sprue. Sprue terdiri dari dua tipe yaitu straight sprue dan tapered sprue. Jika menggunakan straight sprue, tidak semua logam cair akan dialiri ke bawah sehingga menimbulkan ruang kosong yang dapat di isi oleh udara yang dapat

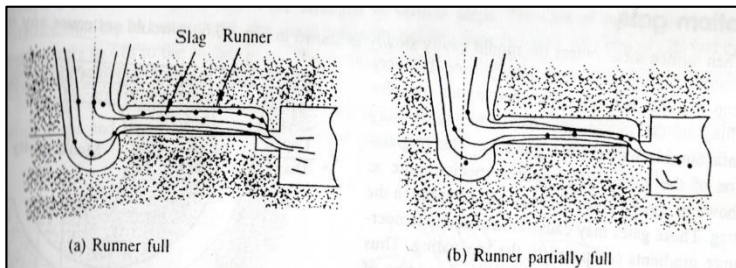


terbawa ke rongga cetakan. Untuk mengatasi persoalan tersebut, digunakan tipe tapered sprue untuk menghindari udara yang terperangkap (Rao, 2001)

c) Sprue Base Well

Sprue base well merupakan bagian yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan awal logam cair ketika mengalir dari atas turun ke bawah. Fungsi dari sprue base well ialah mengurangi efek dari momentum logam cair. Logam cair yang mengalir dari sprue meningkatkan kecepatannya yang dapat menyebabkan erosi cetakan. Dengan menggunakan sprue base well, erosi cetakan dapat berkurang dan arah aliran logam cair dapat berubah yang kemudian mengalir ke runner dan gate dengan aliran yang seragam.

d) Runner



Gambar 2.21 Tipe runner (a) Runner full; (b) Runner partially full (Rao, 2001)

Secara umum terletak horizontal dengan parting plane yang mana terhubung dengan sprue dan ingate. Dalam prakteknya, runner berada didalam cope dan ingate berada didalam drag. Alasan dilakukan pemisahan antara gate dan runner ialah agar menjadi perangkap slag agar tidak masuk kedalam rongga cetakan. Untuk perangkap slag yang efektif, runner harus mengikuti seperti di Gambar 2.21. Ketika sejumlah logam cair datang dari sprue lebih dari jumlah yang mengalir ingate, runner akan akan penuh dan



akhirnya perangkat slag akan terjadi. Namun ketika logam cair mengalir melalui ingate lebih dari aliran runner maka runner akan terisi setengahnya dan slag kemudian akan masuk kedalam rongga cetakan. Untuk mendapatkan luas runner, maka diperlukan ratio pembanding antara sprue, runner dan ingate yang dapat dilihat pada Tabel 2.7 (Rao, 2001)

Tabel 2. 7 Ratio gating system (Rao, 2001)

Material	Sprue : Runner : Ingate		
	Sprue	Runner	Ingate
Aluminium	1	2	1
	1	1.2	2
	1	2	4
	1	3	3
	1	4	4
	1	6	6
Aluminium bronze	1	2.88	4.8
Brass	1	1	1
	1	1	3
	1.6	1.3	1
Copper	2	8	1
	3	9	1
Ductile Iron	1.15	1.1	1
	1.25	1.13	1
	1.33	2.67	1
Grey cast iron	1	1.3	1.1
	1	4	4
	1.4	1.2	1
	2	1.5	1
	2	1.8	1
	2	3	1
	4	3	1
Magnesium	1	2	2



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI – ITS

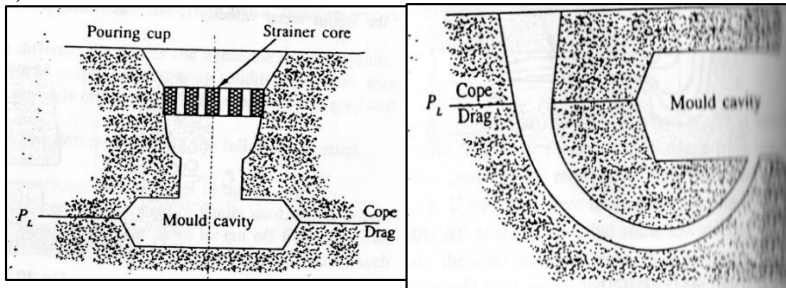
Material	Sprue : Runner : Ingate		
	Sprue	Runner	Ingate
	1	4	4
Melleable iron	1	2	9.5
	1.5	1	2.5
Steels	1	1	7
	1	2	1
	1	2	1.5
	1	2	2
	1	3	3
	1.6	1.3	1

Untuk mendapatkan luas runner digunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_{\text{runner}} = \frac{A_c \times \text{ratio}}{\text{total runner}} \dots \dots \dots (2.5)$$

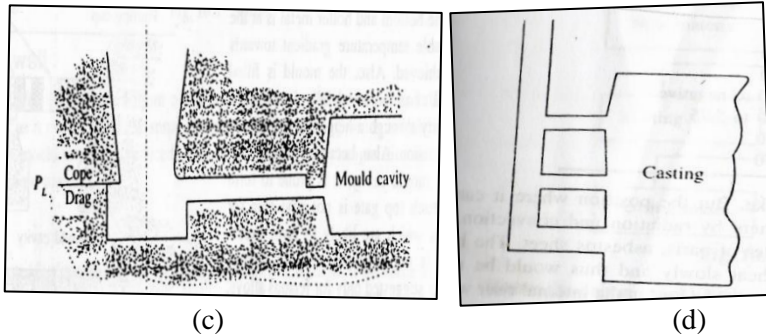
Dimana: A_c = Luas choke (mm²)

e) Gate



(a)

(b)



Gambar 2.22 Tipe ingate (a) Top gate; (b) Bottom gate; (c) Parting gate; (d) Step gate (P N. Rao, 2001)

Gate atau biasa disebut juga ingate merupakan tempat masuknya aliran logam cair ke rongga cetakan. Bentuk dari ingate harus dapat dipisahkan dari benda hasil corannya setelah solidifikasi dan juga bentuk ingate dapat membuat logam cair masuk dengan cepat ke rongga cetakan. Menurut aplikasinya, ingate terdiri dari berbagai macam jenis yaitu:

- a. Top gate yaitu tipe gate dimana logam cair masuk ke dalam rongga cetak dari atas. Karena logam cair masuk dari atas, hal tersebut dapat membuat erosi cetakan.
- b. Bottom gate yaitu tipe gate dimana logam cair masuk ke rongga cetakan dengan perlahan dan tidak menyebabkan erosi cetakan. Secara umum bottom gate digunakan untuk cetakan agak lebih kedalam. Bottom gate juga membutuhkan sprue khusus dan juga membutuhkan riser yang besar karena aliran logam cair dari gate ke rongga cetakan sangat lambat.
- c. Parting gate yaitu jenis gate secara luas digunakan, logam cair masuk di dalam gate yang terbagi dua (parting line) antara drag dan cope. Dari semua jenis gate, parting gate yang lebih murah.
- d. Step gate yaitu jenis gate yang digunakan untuk pengecoran dalam jumlah besar dan berat. Step gate terdiri dari beberapa yang tersusun secara vertical. Gate tipe ini memastikan bahwa erosi cetakan tidak terjadi (Rao, 2001).



$$A_{\text{ingate}} = \frac{A_c \times \text{ratio}}{\text{total gate}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana: A_c = Luas choke (mm²)

f) Riser

Kebanyakan paduan mengalami penyusutan selama solidifikasi. Akibat dari penyusutan tersebut menyebabkan kekosongan pada benda coran. Oleh karena itu, diperlukan cadangan logam cair yang tetap panas selama solidifikasi berlangsung dan diharapkan mengisi kekosongan yang disebabkan proses penyusutan benda coran. Cadangan logam cair tersebut disebut riser.

Beberapa material memiliki penyusutan volum masing-masing dan kebutuhan riser yang berbeda. Ini ditunjukkan pada Tabel 2.8 Untuk membuat riser yang efektif, riser harus di desain sebagai berikut:

- a. Logam cair di riser harus mengalami solidifikasi terakhir
- b. Volum riser harus cukup mengisi penyusutan pada benda coran (Rao, 2001)

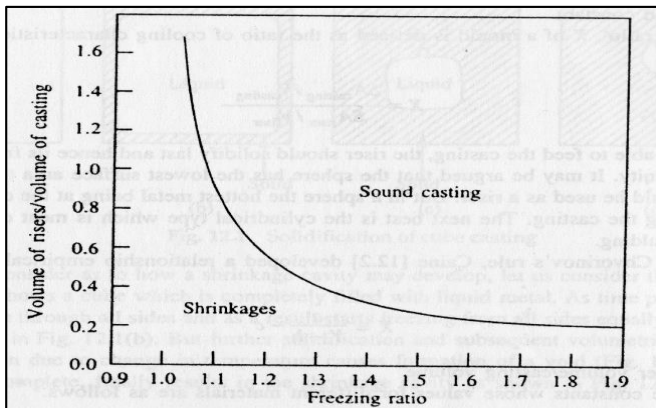
Tabel 2.8 Volume penyusutan liquid (Rao, 2001)

Material	Shrinkage (%)
Medium carbon steel	2,5-3,5
High carcon steel	4
Nickel	6,1
Monel	6,3
Aluminium	6,6
Aluminium (11-13% Si)	3,5
Aluminum bronze	4,1
Copper	4,92
70-30 brass	4,5
Bearing bronze	7,3
Grey cast iron	1,9 to negative



Material	Shrinkage (%)
White cast iron	4-5,75
Magnesium	4,2
Zinc	6,5

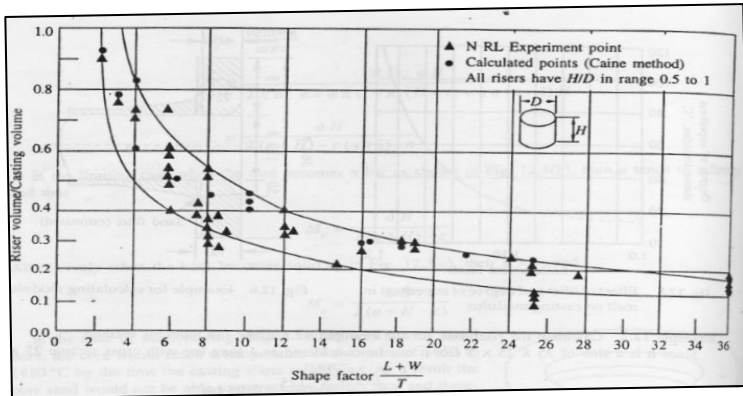
Untuk mendapatkan volum riser yang ideal dengan kebutuhan benda coran, diperlukan perhitungan volum riser dan jenis riser yang tepat digunakan. Ada dua metode dalam perhitungan volume riser yaitu dengan metode caine's dan metode Naval Research Laboratory (Rao, 2001).



Gambar 2.23 Grafik metode caine's (Rao, 2001)

Pada Gambar 2.23 menunjukkan grafik hubungan freezing ratio dengan volume riser/volume casting. Metode caine's menggunakan grafik tersebut untuk mendapatkan volum riser. Untuk mendapatkan nilai freezing ratio, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Freezing ratio} = \frac{\text{Surface area casting no contact/volum casting}}{\text{Surface area riser no contact/volum riser}} \quad (2.7)$$

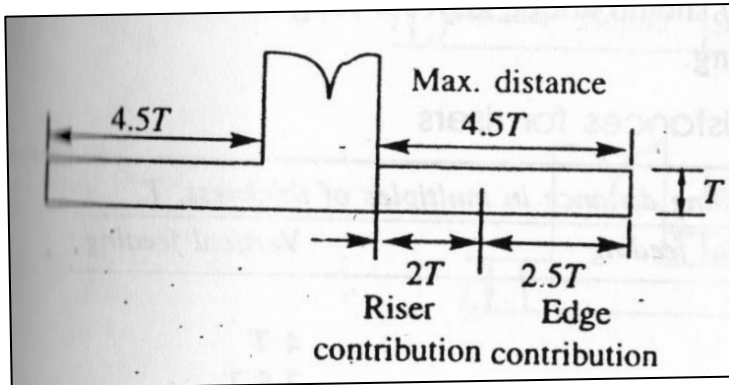


Gambar 2.24 Grafik metode Naval Research Laboratory (Rao, 2001)

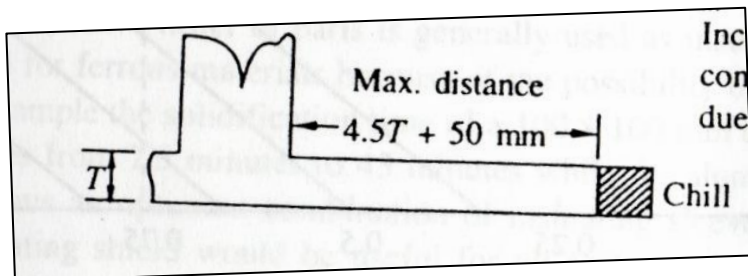
Pada Gambar 2.24 menunjukkan grafik shape factor dengan volume riser/volume casting. Metode naval research laboratory menggunakan grafik tersebut untuk mendapatkan volum riser. Ketika volum riser yang didapatkan dari hasil perhitungan, diharapkan logam cair/logam cair cadangan di dalam riser dapat mengisi benda coran. Ketika jarak rider dengan benda coran terlalu jauh, dimungkinkan bagian yang terjauh dari riser tidak dapat terisi oleh logam cair cadangan dari riser. Oleh karena itu, riser memiliki batas jangkauan untuk dapat mengisi atau dapat mengalir logam cair. Untuk satu riser, batas jangkauan riser maksimal untuk mampu mengisi/ mengalir logam cair yaitu $4.5T$ dimana T ialah *thickness*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.25 dimana menggunakan satu riser. Apabila pada mold/cetakan benda cor ditambahh chill, maka kemampuan mengalir/ mengisi dari riser bertambah yaitu $4.5T + 50$ mm dimana chill ialah material paduan yang memiliki komposisi serupa dengan molten metal yang berfungsi meningkatkan heat transfer sehingga mempercepat



pendinginan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.26 penggunaan riser dan chill secara bersama (Rao, 2001).



Gambar 2.25 Jangkauan satu riser (P N. Rao, 2001)



Gambar 2.26 Jangkauan riser yang ditambahkan chill (Rao, 2001)

2.11 Shrinkage Allowance

Semua logam ketika proses pendinginan akan mengalami penyusutan atau shrink. Ini dikarenakan adanya getaran inter-atomic sehingga atom-atom tersebut membesar dengan naiknya temperatur. Ada dua jenis penyusutan yaitu liquid shrinkage dan solid shrinkage. Liquid shrinkage ialah penyusutan volum logam



yang terjadi akibat perubahan liquid menjadi solid. Sedangkan solid shrinkage yaitu penyusutan volum logam pada kondisi solid temperatur tinggi menjadi solid temperatur rendah.

Untuk mendapatkan hasil coran yang baik, tidak bisa logam cair dituangkan ke rongga cetakan sesuai bentuk dan dimensi komponen. Oleh karena itu diperlukan kelonggaran (allowance) saat pembuatan *pattern*. Tiap material coran memiliki kelonggaran (allowance) yang berbeda, hal itu dapat dilihat pada Tabel 2.9 (Rao, 2001).

Tabel 2.9 *Shrinkage allowance* untuk beberapa logam (Rao, 2001)

Material	<i>Pattern</i> dimension mm	Section thickness mm	Shrinkage allowance mm/m
Grey cast iron	Up to 600	-	10,5
	600-1200	-	8,5
	Over 1200	-	7
White cast iron	-	-	16-23
Ductile iron	-	-	8,3-10,4
Malleable iron	-	6	11,8
	-	9	10,5
	-	12	9,2
	-	15	7,9
	-	18	6,6
	-	22	4
	-	25	2,6
Plain carbon steel	Up to 600	-	21
	600-1800	-	16
	Over 1800	-	13
Chromium steel	-	-	20
Manganese steel	-	-	25-38



Material	Pattern dimension mm	Section thickness mm	Shrinkage allowance mm/m
Aluminum	-	-	13
Aluminium bronze	-	-	20-23
Copper	-	-	16
Brass	-	-	15,5
Bronze	-	-	15,5-22
Gunmetal	-	-	10 -16
Manganese bronze	-	-	15,6
Silicon bronze	-	-	10,4
Tin bronze	-	-	10,4
Chromium copper	-	-	20,8
Lead	-	-	26
Monel	-	-	20
Magnesium	-	-	13
Magnesium alloy	-	-	16
White metal	-	-	6
Zinc	-	-	10-15

Sebagai contoh misalnya suatu material cor berupa steel memiliki dimensi *pattern*/pola panjang x lebar x tinggi yaitu 200 mm x 150 mm x 100 mm. Maka dengan menggunakan Tabel 2.8 didapatkan nilai shrinkage allowance sebesar 21mm/m dan perhitungannya sebagai berikut:

$$P = 200 \text{ mm} \times 21\text{mm}/1000\text{mm} = 4,2 \text{ mm}$$

$$L = 150 \text{ mm} \times 21\text{mm}/1000\text{mm} = 3,2$$

$$T = 100 \text{ mm} \times 21\text{mm}/1000\text{mm} = 2,1$$



Jadi dari hasil perhitungan tersebut di dapatkan panjang total cor bendanya yaitu $150+4,2$ mm, lebar $150+3,2$ mm dan tinggi $100+2,1$ mm (Rao, 2001).

2.12 Draft Allowance

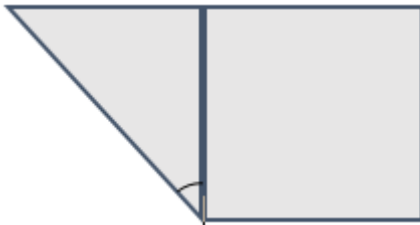
Ketika pola (*pattern*) diletakan di pasir, akan terjadi kontak antara permukaan pola dan pasir. Ketika pola di ambil atau dilepaskan dari pasir, gesekan antar permukaan pola dan pasir menyebabkan pasir dapat runtuh atau terkikis. Oleh karena itu, diperlukan *pattern* yang memiliki sudut agar memudahkan untuk mengambil *pattern* dari pasir. Tiap material *pattern* memiliki *draft allowance* yang berbeda dan juga tiap ketinggian *pattern* memiliki nilai *draft* yang berbeda. Ini ditunjukan dengan Tabel 2.10 (Rao, 2001).

Tabel 2.10 Nilai *draft pattern* (Rao, 2001)

Pattern material	Height of the given Surface (mm)	Draft angle of surface (degrees)	
		External surface	Internal surface
Wood	20	3	3
	21-50	1,5	2,5
	51-100	1	1,5
	101-300	0,75	1
	201-300	0,5	1
	301-800	0,5	0,75
	801-2000	0,35	0,5
	Over 2000	-	0,25
Metal and plastic	20	1,5	3
	21-50	1	2
	51-100	0,75	1
	101-300	0,5	0,75
	201-300	0,5	0,75
	301-800	0,35	0,5



Sebagai contoh misalnya *pattern* yang digunakan berupa *wood* (kayu) dengan panjang 50mm dan tinggi 100 mm dan berbentuk balok. Maka dengan menggunakan Tabel 2.9 di dapatkan *draft* anglenya eksternalnya sebesar 1° dan tidak memiliki *draft* angle internal karena tidak memiliki rongga. Untuk perhitungannya sebagai berikut:



$$\tan 1^\circ = y/x$$

$$\tan 1^\circ = y/100 \text{ mm} \quad ; y = 1,74 \text{ mm}$$

Jadi dari hasil perhitungan tersebut di dapatkan panjang total cor bagian atas dengan penambahan *draft* yaitu sebesar 50 mm + 1,74 mm (Rao, 2001).

2.13 Machining Allowance

Pada proses pengecoran dengan sand casting didapatkan hasil akhir yang umumnya jelek (permukaan masih kasar) dan dimensi coran belum akurat. Untuk mendapatkan hasil yang bagus dan dimensi yang akurat dilakukan proses machining. Oleh karena itu, dengan proses machining maka akan ada bagian yang akan dihilangkan agar mendapatkan coran yang baik. Machining allowance tergantung dengan logam coran, tipe cetakan yang digunakan, dan kompleksitas permukaan benda corannya. Hal ini dilihat pada Tabel 2.11 (Rao, 2001)

Tabel 2.11 Machining allowance (Rao, 2001)



Dimension (mm)		Allowance (mm)		
		Bore	Surface	Cope side
Cast iron	Up to 300	3	3	5,5
	301-500	5	4	6
	501-900	6	5	6
Cast steel	Up to 150	3	3	6
	151-500	6	5,5	7
	501-900	7	6	9
Non ferrous	2	2	1,5	2
	2,5	2,5	1,5	3
	3	3	2,5	3

Sebagai contoh misalnya benda cor berupa steel dengan panjang, lebar dan tinggi yaitu 150 mm x 100 mm x 25 dan berbentuk balok. Maka dengan menggunakan Tabel 2.10 di dapatkan machining allowance untuk surface sebesar 3 mm. Selanjutnya di tambahkan tiap-tiap dimensi benda cor tersebut (Rao, 2001).

2.14 Cacat pada Pengecoran

Menurut (Lampman, 2009) cacat-cacat pengecoran terdiri dari 6 jenis cacat seperti :

1. Porositas

Porositas dapat terjadi karena terjebaknya gelembung-gelembung gas pada logam cair ketika dituangkan ke dalam cetakan . Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hidrogen (Budinski, 1996).

Porositas oleh gas hidrogen dalam paduan akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta



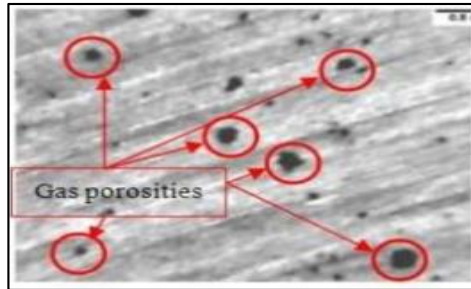
kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Penyebab porositas antara lain kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas oleh paduan, pengeluaran gas dari dalam logam karena interaksi antara gas dengan logam selama peleburan dan penuangan, perbedaan suhu yang sangat tinggi antara cetakan dengan logam cair yang dituang. Proses pembekuan diawali pada bagian logam cair yang lebih dahulu mengenai dinding cetakan. Disebabkan oleh suhu dinding cetakan yang sangat rendah dibandingkan dengan suhu logam cair. Pembekuan yang cepat dan proses pendinginan yang tidak merata mengakibatkan sejumlah gas terperangkap, sehingga terbentuk pori. Porositas oleh gas dalam benda cetak paduan aluminium silikon akan memberikan pengaruh yang buruk pada kesempurnaan dan kekuatan dari benda tuang tersebut. Cacat ini dapat dihindari dengan penuangan logam yang cukup temperature, mengontrol jumlah gas yang dihasilkan oleh material (pengurangan unsur Si dan P akan sangat membantu) (Firdaus, 2002).

Cacat pengecoran logam yang terjadi karena gas terlarut dalam logam cair dan terjebak pada proses solidifikasi disebut porositas gas, dan cacat pengecoran dapat terjadi karena penyusutan disebut porositas penyusutan (shrinkage) (Suprpto 2007).

a). Cacat porositas gas Wibowo(2011) menyatakan. Cacat porositas gas disebabkan karena adanya pembentukan gas ketika logam cair dituangkan. Cacat porositas gas berbentuk bulat akibat tekanan gas ini pada proses pembekuan. Ukuran cacat porositas gas sebesar ± 2 mm sampai 3 mm, lebih kecil bila



dibandingkan dengan cacat porositas shrinkage. Bentuk cacat gas seperti yang terlihat pada Gambar 2.27.



Gambar 2.27 Porositas gas (Wibowo, 2011)

b). Cacat porositas shrinkage

Cacat porositas shrinkage mempunyai bentuk yang tidak bulat (irregular). Ukurannya lebih besar jika dibandingkan dengan cacat porositas gas. Penyebab adanya cacat porositas shrinkage adalah adanya gas hidrogen yang terserap dalam logam cair selama proses penuangan, gas yang terbawa dalam logam cair selama proses peleburan, dan pencairan yang terlalu lama

2. Hot Tears and Cracks

Hot tears adalah cacat berupa retakan yang terjadi selama pembekuan akibat tekanan berlebih pada pembekuan logam karena berkembangnya arus panas yang tinggi .

Crack adalah retak yang terjadi selama tahap pendinginan pada pengecoran setelah pembekuan selesai karena penyusutan yang tidak seimbang.

3. Inclusion



Inclusion adalah kehadiran material asing dalam strukturmikro benda cor , material tersebut dapat berasal dari tungku waktu pembakaran, dari cetakan waktu penuangan material ke cetakan atau dari material itu sendiri.

4. Misruns

Misruns adalah cacat yg terjadi karena logam cair tidak mengisi seluruh rongga cetakan sehingga benda cor menjadi tidak lengkap atau ada bagian yg kurang dari benda cor. Penyebabnya adalah fluiditas logam lebur kurang, temperature tuang rendah ,dan kecepatan penuangan lambat.

5. Cold Shuts

Cold Shuts adalah dua aliran logam lebur bertemu tetapi kurang terjadi fusi atau penggabungan antara keduanya sehingga menimbulkan pendinginan yang premature.

6. Shrinkage

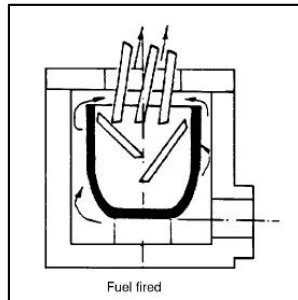
Shrinkage adanya rongga-rongga dengan permukaan kasar serta dendritic baik merupakan rongga tunggal yang besar sampai rongga-rongga kecil yang mengumpul pada lokasi tertentu.

2.15 Crucible Furnace

Secara umum untuk pengecoran skala kecil menggunakan crucible furnace. Crucible secara umum dipanaskan dengan electric resistance atau gas flame. Logam atau bahan baku yang mau dilebur dilekan di dalam crucible furnace dengan dinding furnace yang dilapisi refractory tahan terhadap panas. Logam akan cair di dalam crucible akibat panas dari gas flame yang di masukan didalam crucible furnace. Tipe furnace lebih fleksibel untuk



beberapa paduan. Kualitas hasil peleburan dan temperatur melting dapat di control (Rao, 2001).



Gambar 2.28 Crucible (Brown John, 1999)

Pada Gambar 2.28 menunjukkan crucible dengan input panas berupa gas. Crucible dapat terbuat dari clay graphite atau silicon carbide. Crucible dengan clay graphite terdiri dari special graphite dengan clay sebagai agen pengikat. Pengikat clay berbentuk ikatan sebuah keramik, beberapa silicon carbide ditambahkan yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan thermal shock. Graphite memberikan konduktivitas thermal dan elektrik serta ketahanan saat peleburan. Sedangkan crucible dengan silicon carbide terdiri dari SiC dan graphite special serta pengikatnya berupa pengikat carbon menggunakan aspal atau resin. Baik crucible dengan clay graphite atau silicon carbide sama-sama menggunakan coating/lapisan glaze yang bertujuan untuk mencegah oxidase graphite selama proses peleburan. Di sisi lain, silicon carbide lebih mahal dibandingkan clay graphite dikarenakan umur pakai yang lebih lama (Brown John, 1999).

2.16 Mass Balance

Mass balance merupakan langkah awal yang penting saat merancang proses baru atau menganalisis yang sudah ada. Mass balance digunakan untuk semua perhitungan dalam pemecahan masalah rekayasa proses.



Mass balance tidak lebih dari penerapan hukum kekekalan massa, yang menyatakan bahwa massa tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Contohnya, ketika memasukan ke reaktor satu ton nafta maka tidak akan dapat menghasilkan dua ton bensin atau gas atau hal lainnya. Satu ton dari total input material hanya akan memberikan satu ton total output.

$$\text{Input} + \text{generation} = \text{output} + \text{consumption}$$

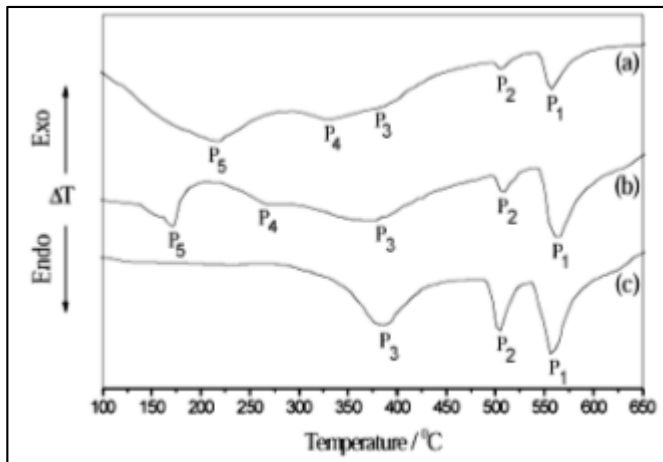
Mass balance adalah perhitungan akuntansi untuk material digunakan dalam industri untuk menghitung laju alir massa dari aliran yang berbeda yang memasuki atau meninggalkan proses kimia atau fisika. (Felder & Rousseau, 1986)

2.17 Penelitian Sebelumnya

a. Influence of the Al content on the phase transformations in Cu-Al-Ag alloys

Studi mengenai pengaruh kandungan Aluminium pada paduan Cu-Al-Ag terhadap transformasi fasa. Pada penelitian ini material yang digunakan yaitu Cu-9% wt. Al-4wt.% Ag, Cu-10wt.% Al-4wt.% Ag dan Cu-11wt.% Al-4wt.% Ag menggunakan induction furnace yang dialiri gas argon 99,95% dan grafit crucible. Pengujian yang dilakukan yaitu differential thermal analysis (DTA), optical microscopy (OM) dan X-ray diffractometry (XRD).

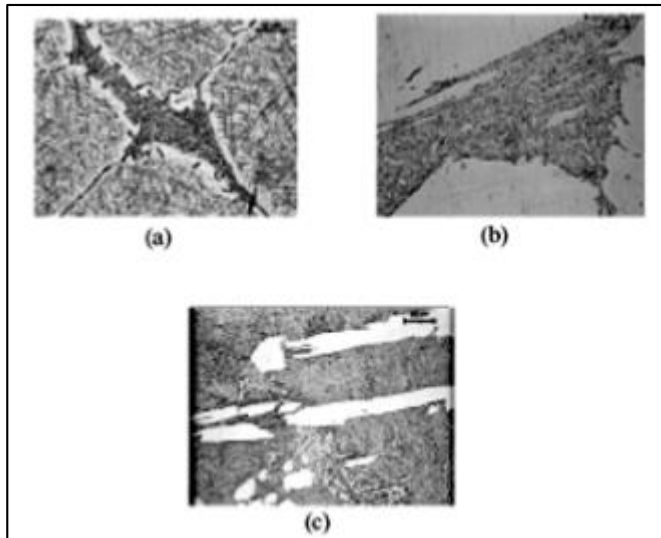
Dari hasil pengujian dengan differential thermal analysis (DTA) setelah dilakukan anealing selama 120 jam didapatkan data seperti pada Gambar 2.29



Gambar 2.29 Hasil Pengujian DTA setelah proses anealing (a) Cu-9% wt.Al-4wt.% Ag (b) Cu-10wt.% Al-4wt.% Ag (c) Cu-11wt.% Al-4wt.% Ag . Heating Rate $20^{\circ}\text{C min}^{-1}$. (Ardono, Benedetti, & Da Silva, 2003)

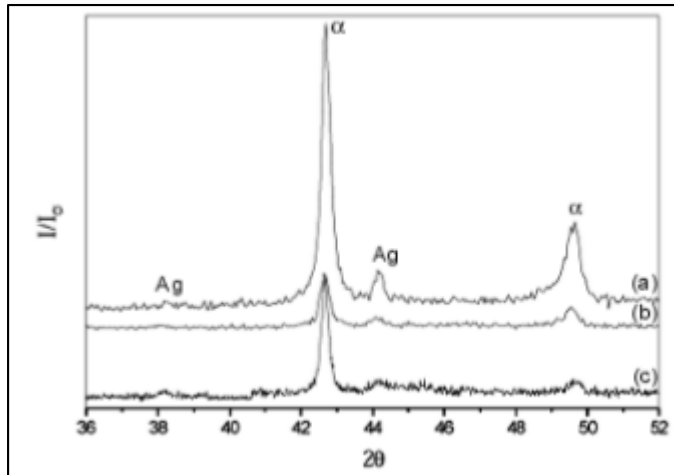
Dari Gambar 2.29 pada spesimen a dan b didapatkan 5 *peak* sedangkan pada spesimen c didapatkan hanya 3 *peak* . P1 pada temperature sekitar 559°C menunjukkan proses $a + g1 \leftrightarrow b$ eutectoid transformation. P2 pada temperature sekitar 508°C menunjukkan proses perubahan dari fase $b1'$ menjadi $b1$. P3 pada temperature sekitar 380°C menunjukkan proses pelarutan fasa $a2$ menjadi presipitat pada proses pendinginan lambat. P4 pada temperature sekitar 330°C menunjukkan proses $a + a2 \leftrightarrow a + g1$. P5 pada temperatur 220°C menunjukkan proses awal perubahan fase $a2$. Dari hasil terlihat intensitas dari P1 meningkat seiring dengan penambahan kandungan aluminium hal ini diperkirakan terjadi karena pengaruh kelarutan unsur ag didalam matrix yang mempengaruhi fasa a.

Berikut Gambar 2.30 menunjukkan hasil dari pengujian optical microscopy (OM)



Gambar 2.30 Hasil pengujian OM dengan pembesaran 500x (a) Cu-9%wt.Al-4wt.% Ag (b) Cu-10wt.% Al-4wt.% Ag (c) Cu-11wt.% Al-4wt.% Ag . (Ardono, Benedetti, & Da Silva, 2003)

Kurva hasil pengujian DTA pada Gambar 2.33 berhubungan dengan fase perlit, seperti yang ditunjukkan dari hasil mikroskop optik pada Gambar 2.30. Pada titik ini juga ada sejumlah Ag yang tersisa dari solution treatment, seperti yang ditunjukkan pada pengujian difraksi sinar-X pada Gambar 2.31. Dari pengujian OM membuktikan peningkatan kandungan Aluminium menurunkan fraksi relatif dari fase α dan mendorong pembentukan fase perlit.



Gambar 2.31 Hasil pengujian XRD (a) Cu-9wt.%Al-4wt.% Ag
(b) Cu-10wt.%Al-4wt.% Ag (c) Cu-11wt.%Al-4wt.% Ag.
(Ardono, Benedetti, & Da Silva, 2003)

Kesimpulan dari pengujian menunjukkan bahwa dengan penambahan 4 wt.% Ag pada paduan Cu-9wt.% Al, Cu-10wt.% Al dan Cu-11wt.% Al memungkinkan untuk mengamati transformasi fasa yang sesuai dengan konsentrasi Al yang lebih tinggi. Peningkatan kandungan Al menurunkan fraksi relatif fase a dan mendorong pembentukan fasa perlit. Peningkatan fase perlit mendorong terjadinya difusi unsur Ag. Peningkatan konsentrasi Al dan kehadiran Ag menurunkan laju reaksi dekomposisi fase b1 dan menaikkan suhu transisi. Hasilnya juga menunjukkan bahwa reaksi dekomposisi mempercepat presipitasi Ag. (Ardono, Benedetti, & Da Silva, 2003)

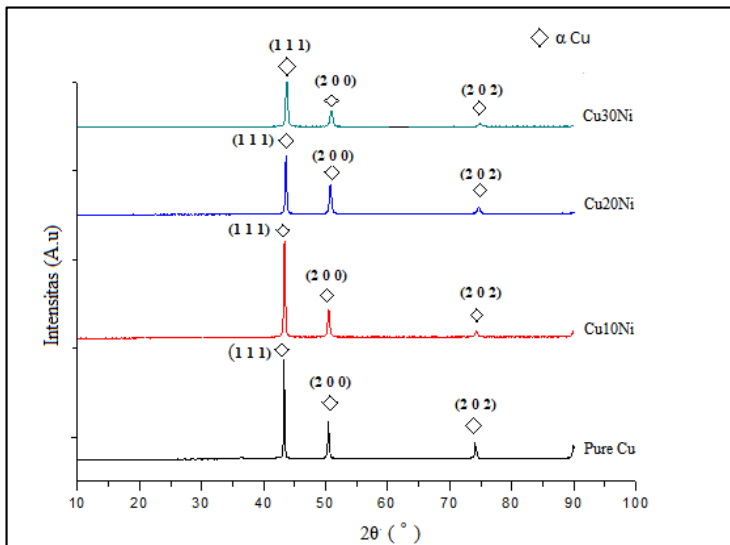
b. Pengaruh penambahan unsur nikel (Ni) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro paduan tembaga-nikel (Cu-Ni) pada aplikasi sudu turbin

Studi mengenai pengaruh kandungan nikel pada paduan Cu-Ni. Pada penelitian ini material yang digunakan yaitu pure Cu, Cu-10wt%Ni, Cu-20wt%Ni, dan



Cu-30wt%Ni. Pengujian yang dilakukan yaitu optical spectroscopy (OES), optical microscopy (OM), X-ray diffractometry (XRD), Uji kekerasan dan Uji Tarik.

Pengujian *X-Ray Diffraction* dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS. Bertujuan untuk mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Cu-Ni. Pola XRD hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.32



Gambar 2.32 Pola XRD Paduan Cu-Ni

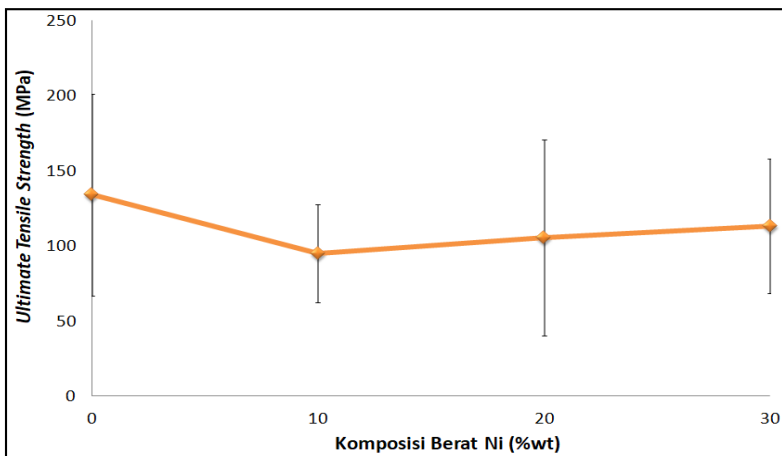
Analisis pola pengujian XRD dilakukan dengan menggunakan software Match3!. Pada logam *pure Cu*, *peak Cu* muncul di 2θ 43,29 pada bidang (1 1 1), kemudian di 2θ 50,43 pada bidang (2 0 0), dan di 2θ 74,10 pada bidang (2 0 2) dengan nama fasa *copper*. Fasa *copper* yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-710-1265.



Pada paduan Cu-10Ni, *peak* Cu muncul di sudut 2θ 43,34 pada bidang (1 1 1), kemudian di 2θ 50,44 pada bidang (2 0 0), dan di 2θ 74,20 pada bidang (2 0 2) dengan nama fasa *copper*. Fasa *copper* yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-901-3015.

Pada paduan Cu-20Ni, *peak* Cu muncul di sudut 2θ 43,61 pada bidang (1 1 1), kemudian di 2θ 50,78 pada bidang (2 0 0), dan di 2θ 74,67 pada bidang (2 0 2) dengan nama fasa *copper*. Fasa *copper* yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-431-3212.

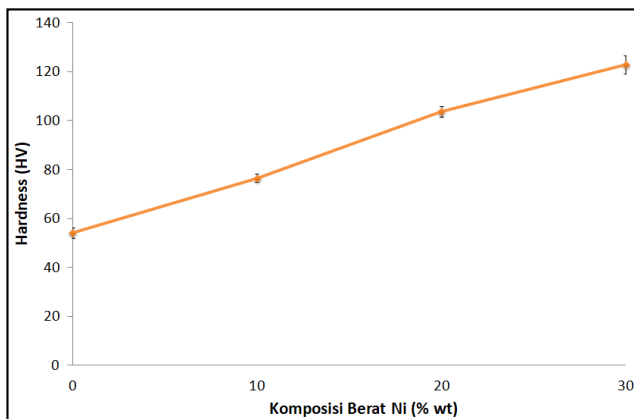
Pada paduan Cu-30Ni, *peak* Cu muncul di sudut 2θ 43,70 pada bidang (1 1 1), kemudian di 2θ 50,87 pada bidang (2 0 0), dan di 2θ 74,96 pada bidang (2 0 2) dengan nama fasa *copper*. Fasa *copper* yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-431-3204.



Gambar 2.33 Pengaruh Penambahan Unsur Ni terhadap Nilai Ultimate Tensile Strength Paduan Cu-Ni



Gambar 2.33 menunjukkan hubungan antara nilai *ultimate tensile strength* dengan penambahan unsur Ni pada logam paduan Cu-Ni. Penambahan unsur Ni pada paduan Cu-Ni mempengaruhi nilai *ultimate tensile strength*. Namun, nilai dari *ultimate tensile strength* juga dipengaruhi dengan adanya cacat porositas. Cacat porositas ini yang menyebabkan nilai *ultimate tensile strength* dari logam *pure* Cu memiliki nilai paling tinggi dibandingkan paduan lainnya. Walaupun terdapat porositas, penambahan unsur Ni mempengaruhi naiknya nilai *ultimate tensile strength*. Paduan Cu-20Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* lebih tinggi dibandingkan Cu-10Ni. Paduan Cu-30Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* lebih tinggi dibandingkan Cu-20Ni. Hal ini terjadi karena penambahan komposisi Ni 10-30% akan meningkatkan sifat mekanik dari Cu. Penambahan unsur Ni membentuk paduan isomorfus dan belum sampai di batas jenuh penambahan paduan. Oleh karena itu, semakin banyaknya komposisi Ni dalam paduan Cu-Ni, nilai *ultimate tensile strength* semakin tinggi (Frederick, 1956).



Gambar 2.34 Pengaruh Penambahan Unsur Ni terhadap Nilai Kekerasan Paduan Cu-Ni



Gambar 2.34 menunjukkan grafik kenaikan nilai kekerasan paduan Cu-Ni yang berbanding lurus dengan bertambahnya unsur Ni. Semakin besar penambahan unsur Ni pada logam paduan, maka nilai kekerasan semakin besar. Paduan Cu-30Ni memiliki nilai kekerasan paling besar dibandingkan paduan Cu-10Ni dan Cu-20Ni. Paduan *pure* Cu memiliki nilai kekerasan paling rendah. Unsur Cu memiliki sifat mekanik lebih baik jika ditambahkan unsur Ni. Hal ini disebabkan karena unsur Ni merupakan unsur yang tangguh. Nikel murni bersifat tangguh dan berwarna putih kesilveran yang memiliki konduktifitas listrik dan panas yang tinggi (Cardarelli, 2008).

Paduan Cu-Ni merupakan paduan logam yang membentuk larutan padat substitusional berupa fasa α Cu. Paduan jenis ini memiliki sifat mekanik yang baik, salah satunya nilai kekerasan. Seiring bertambahnya unsur Ni dalam paduan Cu-Ni, maka nilai kekerasannya akan meningkat. Paduan Cu-Ni merupakan salah satu jenis paduan isomorfus. Pada paduan ini, ketika suatu unsur ditambahkan ke dalam unsur yang lain maka akan meningkatkan sifat mekanik sampai suatu batas tertentu. Sifat mekanik kemudian akan menurun ketika batas penambahan dari unsur tersebut telah melewati batas (Frederick, 1956).

Penambahan komposisi Ni dari 10-30% ke dalam Cu merupakan penambahan yang dapat menaikkan sifat mekanik, salah satunya nilai *hardness*.

Kesimpulan pada penelitian ini adalah :

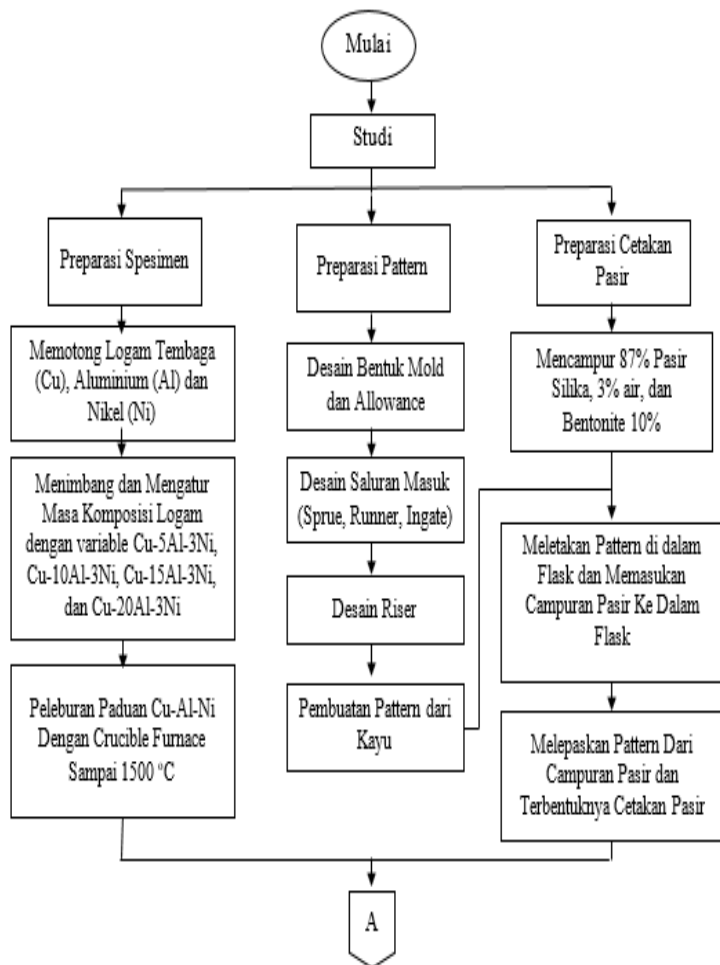
1. Unsur Ni mempengaruhi struktur mikro paduan Cu-Ni. Semakin bertambahnya unsur Ni dalam paduan, maka bagian terang pada fasa α Cu memiliki luasan daerah yang lebih luas.
2. Unsur Ni mempengaruhi nilai kekerasan paduan Cu-Ni. Semakin bertambahnya unsur Ni dalam paduan, nilai kekerasan paduan semakin tinggi. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh logam paduan Cu-30Ni dengan nilai sebesar 122,9 HV. Nilai kekerasan terendah dimiliki oleh logam *pure* Cu dengan nilai sebesar 54,2 HV.

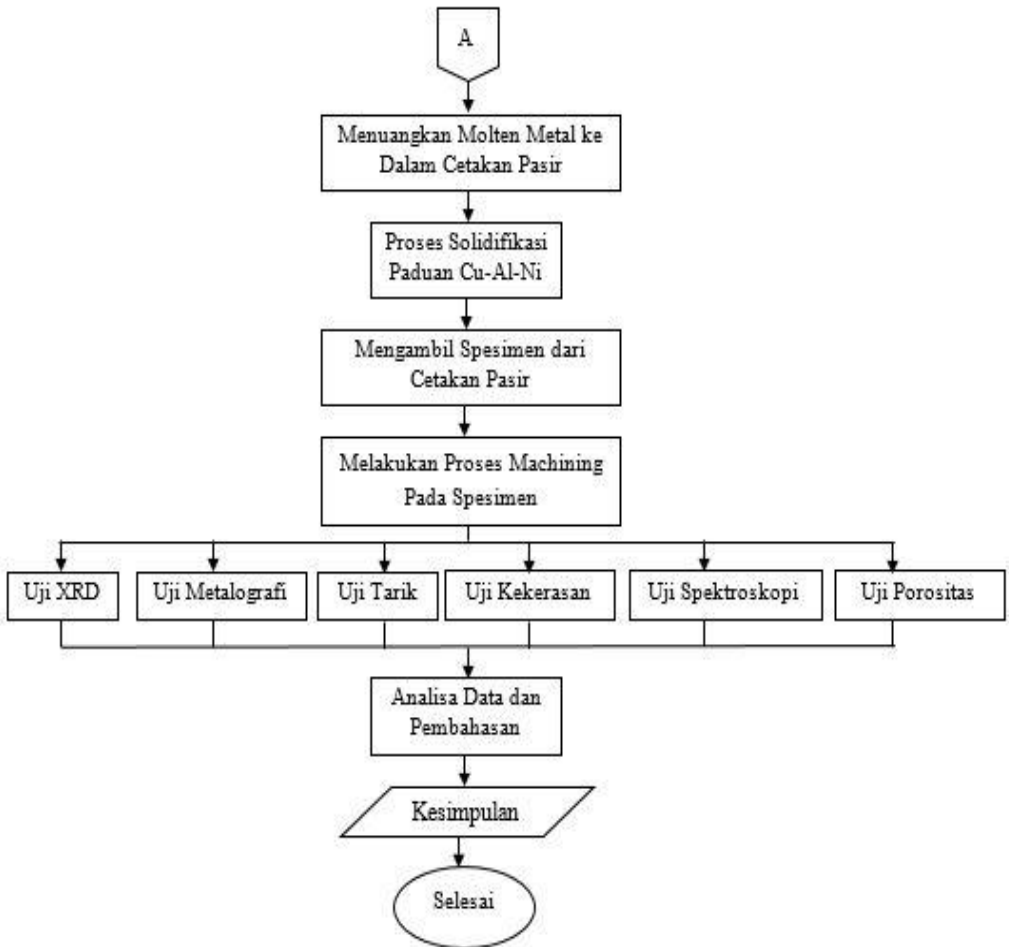


3. Unsur Ni mempengaruhi nilai kekuatan tarik paduan Cu-Ni. Semakin bertambahnya unsur Ni dalam paduan, nilai kekuatan tarik semakin tinggi. Nilai *ultimate tensile strength* pada logam paduan Cu-10Ni sebesar 95,2 MPa dan Cu-30Ni sebesar 113,23 MPa.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap. Tahapan penelitian digambarkan pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pertama, dilakukan studi literatur terkait penelitian, lalu mempersiapkan cetakan



pasir dan bahan yaitu Cu-Al-Ni dengan variabel komposisi Al 5,10,15,20% berat dan Nikel 3% berat. Setelah itu proses peleburan bahan menggunakan *crucible furnace* pada temperatur 1500°C lalu dituangkan kedalam cetakan pasir. Setelah logam dingin spesimen diambil kemudian dilakukan proses machining. Kemudian dilakukan pengujian komposisi kimia dengan OES untuk menentukan komposisi kimia paduan dan dilakukan pengujian yang meliputi, uji kekerasan, uji XRD, uji metalografi dan uji tarik. Selanjutnya dilakukan analisa data dan pembahasan terhadap data hasil uji. Proses terakhir adalah mengambil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

3.2. Material yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Tembaga

Tembaga yang digunakan pada penelitian ini memiliki kandungan >99% dalam bentuk *rod* didapatkan dari PT. Sutindo, Surabaya. Ditunjukkan oleh Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Tembaga (Cu)

2. Aluminium

Aluminium (Al) dalam bentuk batang dengan kadar >97% didapatkan dari PT. Inalum, Medan. Aluminium digunakan sebagai logam paduan. Ditunjukkan oleh Gambar 3.3



Gambar 3. 3 Aluminium (Al)

3. Nikel

Nikel sheet (Ni). Nikel yang digunakan dalam penelitian ini berupa nikel dalam bentuk lembaran untuk aplikasi material elektronik. Nikel ditunjukkan pada Gambar 3.4



Gambar 3. 4 Nikel Sheet

4. Bahan Etsa

Bahan etsa yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan ASM Metal Handbook Vol 9.

- a. 100 mL *ethanol*
- b. 5 gr FeCl_3
- c. 30 mL HCl

3.3 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah



1. *Crucible Furnace*

Furnace yang digunakan untuk melelehkan dan memadukan bahan merupakan tungku bakar (burner). Ditunjukkan oleh Gambar 3.5



Gambar 3. 5 Tungku bakar (burner)

2. *Crucible grafit*

Digunakan sebagai wadah untuk proses peleburan. Krusibel yang digunakan memiliki ukuran A3 dan terbuat dari *insulating brick* tipe C-1 dibeli dari U.D Kampung Dukuh, Surabaya. Ditunjukkan oleh Gambar 3.6

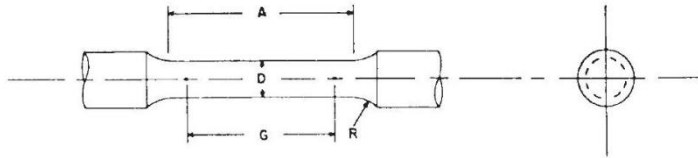


Gambar 3. 6 Krusibel Grafit



3. Pola Cetakan Komponen

Pola cetakan komponen digunakan untuk membuat cetakan hasil coran pada cetakan pasir. Pola cetakan hasil coran disesuaikan dengan standar pengujian yang akan dilakukan. Contoh pola cetakan yang akan dilakukan pada pengujian tarik ditujukan oleh. Gambar 3.7



Gambar 3. 7 Spesimen Uji Tarik

4. Pattern

Pattern cetakan yang digunakan adalah pattern untuk sprue dan riser. Dimensi rancangan dari sprue, riser, runner dan gate yang akan digunakan pada cetakan adalah sebagai berikut :

Dimensi Produk

Panjang (mm)	320,254144
Lebar (mm)	62,074144
Tinggi (mm)	20,34

Dimensi Runner

Luas Runner 1 (mm ²)	2305,425792
Sisi Runner 1 (mm)	48,0148497
Panjang Runner (mm)	320,254144
Luas Runner 2 (mm ²)	369,8287208
Tinggi Runner 2 (mm)	7,702382139



Dimensi Gate

Luas Inggate 1 (mm ²)	1953,207962
Sisi Inggate 1 (mm)	44,19511243
Luas Inggate 2 (mm ²)	2050,868361
Sisi Inggate 2 (mm)	45,28651411

Dimensi Riser

Diameter Riser (mm)	55
Tinggi Riser (mm)	70
Tipe Riser	Open

5. Kikir

Kikir yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Kikir digunakan untuk meratakan permukaan spesimen.

6. Gelas Ukur 250 ml

Alat ini digunakan untuk mengukur bahan saat pembuatan larutan etsa.

7. Timbangan digital

Digunakan untuk mengukur massa bahan lebur. Ditunjukkan oleh Gambar 3.8



Gambar 3.8 Timbangan Digital



8. Kertas Amplas (taiyo eco)
Digunakan untuk grinding spesimen pada uji metalografi. Digunakan kertas amplas *silicon carbide grade 80* hingga 2000
9. Gergaji (newdior)
Digunakan untuk memotong bahan lebur dan hasil coran.
10. Alat Uji Kekerasan *Universal*
Alat ini digunakan untuk mengukur kekerasan spesimen.
11. OES (*Optical Emission Spectroscope*)
Alat ini digunakan untuk mengetahui komposisi kimia benda hasil coran
12. XRD
Alat ini digunakan untuk mengetahui system Kristal, struktur Kristal serta fasa dari hasil coran
13. Alat Uji Tarik
Mesin uji tarik yang digunakan adalah milik Lab. Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Digunakan untuk menguji kekuatan tarik dari spesimen paduan logam
14. Mesin *Grinding & Polishing*
Alat ini digunakan dalam proses grinding serta polishing spesimen dalam uji metalografi.
15. Mikroskop Optik Metalurgi
Alat ini digunakan untuk mengetahui struktur mikro spesimen.

3.4 Variabel Percobaan

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi penambahan unsur pepadu Al sebesar 5, 10, 15, 20%.



3.5 Prosedur Percobaan

3.4.1. Prosedur Pengecoran

Persiapan bahan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Melakukan perhitungan allowance untuk mendapatkan volum coran dengan bentuk batangan/persegi panjang.

Panjang (p) = 310 mm

Lebar (l) = 17 mm

Tinggi (t) = 17 mm

a. *Shrinkage Allowance*

Dengan menggunakan Tabel 2.9 *shrinkage allowance* untuk beberapa logam, di dapatkan nilai *shrinkage allowance* untuk material *aluminum bronze* sebesar 20 mm/m, maka dengan nilai tersebut dapat dicari panjang, lebar dan tinggi *allowance*-nya sebagai berikut:

$$p = 310 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}/1000 \text{ mm} = 6,2 \text{ mm}$$

$$l = 17 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}/1000 \text{ mm} = 0,34 \text{ mm}$$

$$t = 17 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}/1000 \text{ mm} = 0,34 \text{ mm}$$

Jadi, dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai masing-masing dimensi yaitu sebesar:

$$p = 310 \text{ mm} + 6,2 \text{ mm} = 316,2 \text{ mm}$$

$$l = 17 \text{ mm} + 0,34 \text{ mm} = 17,34 \text{ mm}$$

$$t = 17 \text{ mm} + 0,34 \text{ mm} = 17,34 \text{ mm}$$

b. *Machining allowance*

Dengan menggunakan Tabel 2.11 *Machining allowance* untuk beberapa material, didapatkan nilai *machining allowance* untuk material *non-ferrous* di *surface* sebesar 1,5 mm untuk satu sisi *surface*, jika saat *machining* dilakukan di dua sisi *surface* berbeda, maka nilai



allowance-nya dikali 2. Dengan nilai tersebut dapat dicari panjang, lebar dan tinggi *allowance*-nya sebagai berikut:

$$p = 316,2 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm}) = 319,2 \text{ mm}$$

$$l = 17,34 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm}) = 20,34 \text{ mm}$$

$$t = 17,34 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm}) = 20,34 \text{ mm}$$

Khusus untuk dimensi lebar(l), ukurannya di kali 3 karena ingin membuat 3 spesimen tarik dengan lebar masing-masing 20,221 mm, sehingga nilainya menjadi

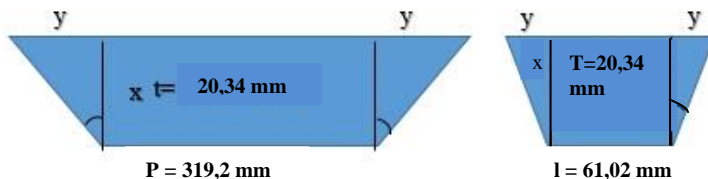
$$p = 319,2 \text{ mm}$$

$$l = 20,34 \text{ mm} \times 3 = 61,02 \text{ mm}$$

$$t = 20,34 \text{ mm}$$

c. *Draft allowance*

Dengan menggunakan Tabel 2.10 Nilai *draft pattern* maka di dapatkan sudut *draft*. Metode penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *pattern* dengan berbahan kayu, maka dari Tabel 2.10 di dapatkan nilai sudut *draft*-nya sebesar $1,5^\circ$. Dengan nilai tersebut dapat dicari panjang dan lebar *allowance*-nya sebagai berikut:



$$\tan(1,5^\circ) = \frac{y}{x}$$

$$y = 0,527 \text{ mm}$$



Sehingga didapatkan masing- dimensi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= 319,2 \text{ mm} + 2(y) = 319,2 \text{ mm} + 2(0,527) \\ &= 320,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l &= 61,02 \text{ mm} + 2(y) = 61,02 \text{ mm} + 2(0,527) \\ &= 62,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t = 20,34 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Volum casting} &= p \times l \times t \\ &= 320,25 \text{ mm} \times 62,07 \text{ mm} \times 20,34 \text{ mm} \\ &= 425304,92 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$



2. Melakukan perhitungan pada *Gatting* Sistem

Tabel 3.1 Perhitungan *Gatting* Sistem

Dimensi Spesimen	Ukuran Awal	Shrinkage Allowance	Machining Allowance	Draft Allowance
Panjang (mm)	310	316,2	319,2	320,254144
Lebar (mm)	17	17,34	61,02	62,074144
Tinggi (mm)	17	17,34	20,34	21,394144
Volume Casting (mm ³)	425304,9253			
Surface Area Casting awal (mm ²)	56118,1766			
Diameter Riser (mm)	55			
Tinggi Riser (mm)	70			
Volume Riser (mm ³)	166223,75			
Surface Area Riser awal (mm ²)	16838,25			
Luas Kontak (mm ²)	2374,625			
S A Casting (mm ²)	53743,5516			
S A Riser (mm ²)	14463,625			
Freezing Ratio (smb-X)	1,452251633			
Volume Ratio (Smb-Y)	0,390834294			
Tipe Riser	Open			
Density Paduan (kg/mm ³)	0,000007706			
W casting (Kg)	3,277399754			
Pouring Time (s)	15			
Effisiensi Factor	0,9			
Luas Choke Sprue (mm ²)	841,9816483			
Diamer Sprue (mm)	32,75039064			
Tinggi Bashin (mm)	25			
Luas Top Sprue (mm ²)	1408,904776			
Diameter Top Sprue	42,36488115			
Luas Runner 1 (mm ²)	2424,907147			
Sisi Runner 1 (mm)	49,24334622			
Panjang Runner (mm)	320,254144			
Luas Inggate 1 (mm ²)	2054,435222			
Sisi Inggate 1 (mm)	45,32587806			
Luas Inggate 2 (mm ²)	2157,156983			
Sisi Inggate 2 (mm)	46,44520409			
Luas Runner 2 (mm ²)	388,9955215			
Tinggi Runner 2 (mm)	7,899453456			



3. Perhitungan *Material Balance*

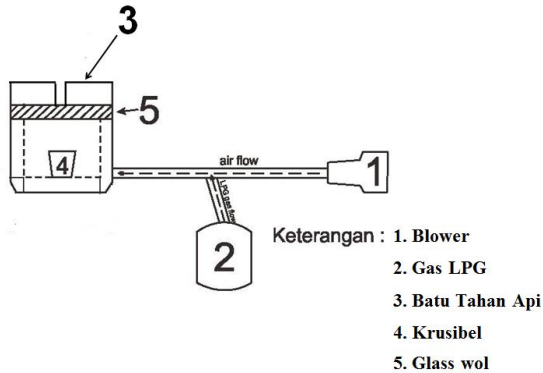
Sebelum melakukan eksperimen, preparasi sampel dilakukan dengan cara menghitung massa tiap – tiap bahan lebur untuk mendapatkan komposisi hasil coran yang diinginkan. Perhitungan massa bahan lebur pada penelitian kali ini menggunakan prinsip *material balance*. Perhitungan *material balance* menggunakan Persamaan 3.1. Skema peleburan ditunjukkan pada Gambar 3.10 dan % komposisi serta massa *raw material* yang digunakan dalam proses peleburan ditunjukkan pada Tabel 3.2

$$\frac{\% \text{ Target unsur}}{\% \text{ Rasio Kadar Unsur Pada Bahan}} \times \text{Massa Total} \dots\dots\dots(3.1)$$

Tabel 3.2 Komposisi *raw material input*

No.	Paduan	Cu (%)	Al (%)	Ni (%)
1	Cu-5Al-3Ni	92	5	3
2	Cu-10Al-3Ni	87	10	3
3	Cu-15Al-3Ni	82	15	3
4	Cu-20Al-3Ni	77	20	3

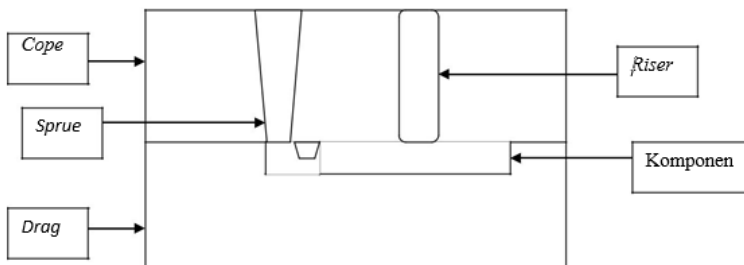
Setelah proses penghitungan jumlah bahan lebur, *raw material* kemudian diletakkan pada krusibel. Langkah selanjutnya yaitu melakukan peleburan Cu yang telah diletakkan dalam krusibel menggunakan *crucible furnace* sampai temperatur 1500°C seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9



Gambar 3. 9 Skema peleburan dengan crucible furnace

3.4.2. Preparasi Cetakan

Cetakan yang digunakan dalam penelitian terbuat dari pasir silika dan *bentonite* sebagai perekat. Pertama menyiapkan pasir silika, *bentonite*, dan air. Selanjutnya menimbang pasir silika dan *bentonite* dengan komposisi 87% pasir silika, 3% air dan 10% *bentonite*. Kemudian memasukan pasir silika dan *bentonite* ke dalam wadah dan mengaduknya secara merata dengan menambahkan air secara bertahap. Lalu menyiapkan *flask* dan pola benda. Terakhir membuat cetakan sesuai kebutuhan.



Gambar 3. 10 Cetakan pasir pada proses pengecoran

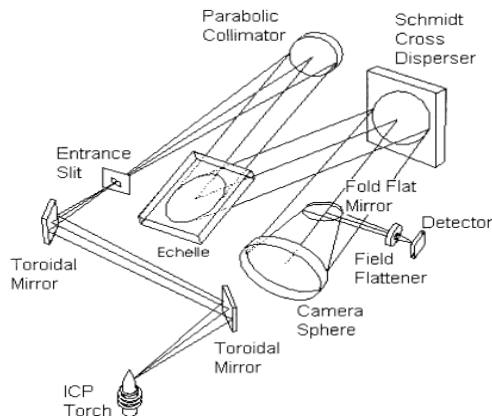


3.5. Proses Pengujian

Penelitian ini dilakukan empat pengujian. Pengujian komposisi dengan OES, pengujian metalografi untuk melihat struktur mikro. *Hardness test* untuk mengetahui nilai kekerasan. Uji XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk.

3.5.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia menggunakan *Optical Emission Spectroscopy (OES)*, adalah pengujian dengan menembakkan elektron pada bidang datar spesimen sehingga memantulkan gelombang cahaya yang unik yang dapat ditangkap oleh *receiver* dan sensor yang kemudian dicocokkan dengan database yang ada. Mekanisme OES seperti pada Gambar 3.10. OES dapat mengetahui berbagai unsur tergantung dari database yang tersedia. Pengujian OES pada penelitian ini dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Dimensi spesimen yang dibutuhkan untuk proses pengujian menggunakan OES yaitu lebar, panjang, dan ketebalan berturut-turut 1.5 cm, 1.5 cm, dan 0.5 cm.



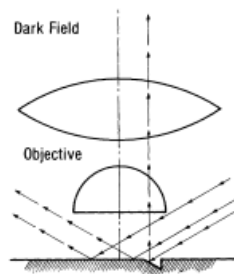
Gambar 3. 11 Prinsip pengujian OES (Boss, 2004)



3.5.2 Pengujian Struktru Mikro

Metalografi adalah suatu metode pengujiam untuk melihat struktur logam pada skala mikro. Struktur atau gambar logam yang terlihat melalui pengamatan dengan mikroskop disebut mikrostruktur. Pada gambar ini terlihat daerah lingkup ukuran mikro struktur logam yang umumnya diamati dengan mikroskop. Gambar 3.12 menunjukkan alur sinar datang pada pemngamatan Metalografi.

Tujuan dilakukannya pengujian metalografi pada penelitian ini adalah melihat struktur yang terbentuk pada spesimen hasil pemaduan. Struktur mikro yang terlihat akan dibandingkan dengan diagram fasa paduan. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat pengaruh unsur paduan terhadap diagram fasa dan strukturmikro. Pengujian menggunakan Metallurgical Microscope OLYMPUS BX51M-RF larutan etsa yang digunakan sesuai dengan ASM Metal Handbook Vol 9 untuk *copper* dan *copper alloys*.



Gambar 3. 12 Alur sinar pada pengamatan metalografi
(Kaufmann, 2003)



3.5.3 Pegujian Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan sebuah material terhadap indentasi dan goresan. Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan ASTM E92 dengan menggunakan metode vickers. Alat yang digunakan adalah *Universal Hardness Tester HBRV-187.5A* (lihat Gambar 3.13) di Laboratorium Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Beban yang diberikan sebesar 100 kgf dan waktu pembebanan selama 10 s. Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 3 kali indentasi. Gambar 3.13 menunjukkan Mesin Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A.



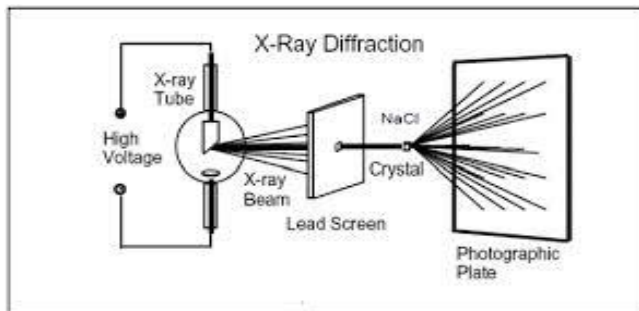
Gambar 3. 13 Mesin Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A

3.5.4 Pengujian Fasa

Pengujian fasa dilakukan dengan menggunakan XRD. Analisa difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Cu-Zn yang sudah terbentuk selama proses melting. Karakterisasi difraksi Sinar-X (XRD). Prinsip



kerja pada pengujian XRD adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Gambar 3.14 menunjukkan prinsip kerja pengujian XRD. Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pengujian dilakukan dengan mesin PAN Analytical XRD. Sampel yang digunakan untuk pengujian XRD ini harus memiliki ketinggian tidak lebih dari 4 mm.



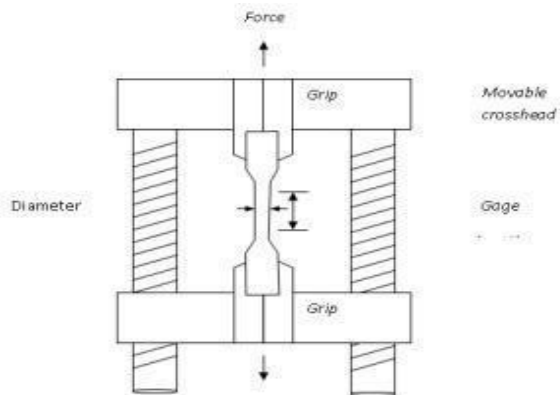
Gambar 3. 14 Prinsip kerja XRD (Kaufmann, 2003)

3.5.5 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Selain itu, uji ini juga dilakukan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Dilakukan



berdasarkan standar JIS Z 2201 No.5 (a) di Lab. Metalurgi Jurusan Teknik Maerial dan Metalurgi ITS. Spesimen disiapkan sesuai dengan standar uji yang digunakan. Memasangkan spesimen pada alat pengujian dan pastikan spesimen terkunci pada grip. Memberikan beban secara terus menerus sampai spesimen mengalami patah. Grafik uji tarik akan dihasilkan setelah pengujian selesai dilakukan. Pada Gambar 3.15 menjelaskan tentang mesin uji tarik dan spesimen yang berada pada alat uji tersebut.



Gambar 3. 15 Mesin Uji Tarik dan Spesimen

3.5.6 Pengujian Porositas

Pengamatan porositas dapat dilakukan dengan melihat secara visual pada setiap sisi bagian luar dari benda coran. Dari spesimen benda coran tersebut dicari nilai porositasnya untuk menentukan tingkat porositas dari benda coran. Pengujian porositas dilakukan dengan menggunakan metode Archimedes. Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong yang dimiliki



oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri dan dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\text{porosity} = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_{th}}$$

Keterangan:

ρ_m : Density sebenarnya

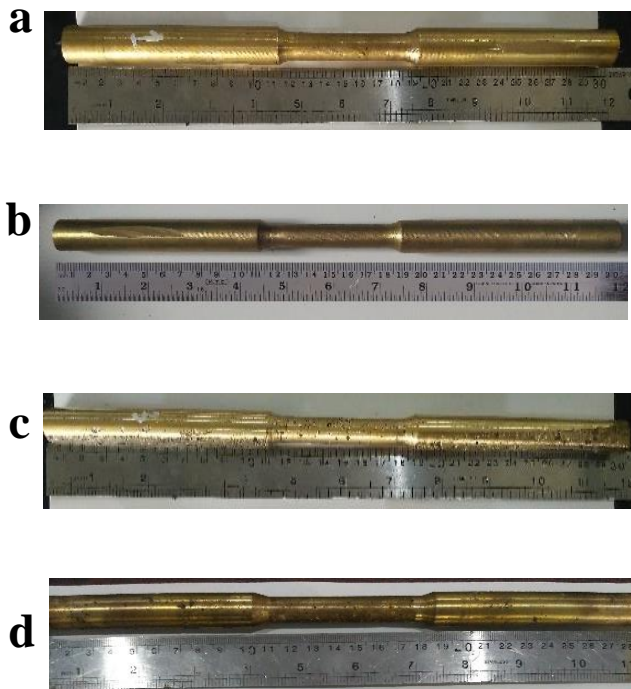
ρ_{th} : Density teory

(Sumpena 2017)

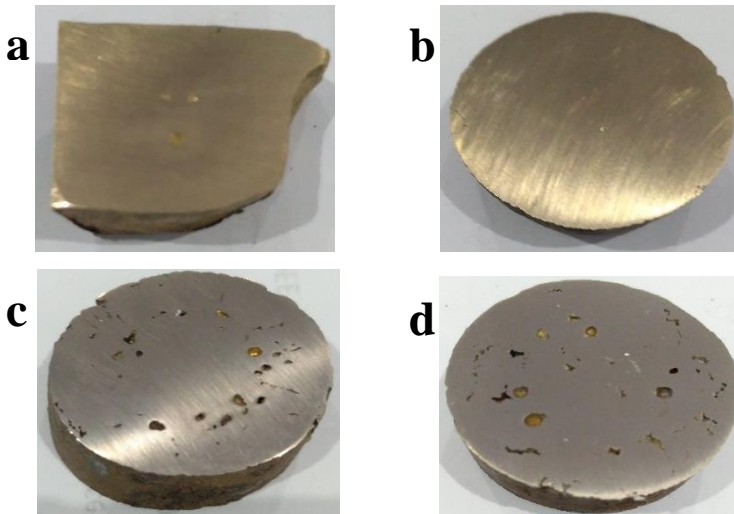
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan Hasil Peleburan Paduan Cu-Al-Ni

Hasil peleburan yang dilakukan untuk membentuk paduan paduan Cu-Al-Ni dapat dilihat pada Gambar 4.1. Warna dari paduan tembaga adalah berwarna jingga (*orange*). Seiring bertambahnya unsur Al di dalam paduan, maka paduan akan cenderung berwarna putih keperakan.



Gambar 4.1 Hasil Coran Paduan Cu-Al-Ni (a) Cu-5Al-3Ni (b) Cu-10Al-3Ni (c) Cu-15Al-3Ni (d) Cu-20Al-3Ni



Gambar 4.2 *Cross Section* Hasil Coran Paduan Cu-Al-Ni
(a) Cu-5Al-3Ni (b) Cu-10Al-3Ni (c) Cu-15Al-3Ni (d) Cu-20Al-3Ni

Gambar 4.1 (a) dan Gambar 4.2 (a) merupakan hasil peleburan spesimen paduan Cu-5Al-3Ni dengan kadar massa 92% Cu, 5% Al dan 3% Ni. Paduan memiliki warna kuning keemasan dikarenakan penambahan unsur aluminium dan nikel pada Cu yang berwarna dasar jingga (orange). Gambar 4.1 (b) dan Gambar 4.2 (b) merupakan hasil peleburan spesimen paduan Cu-10Al-3Ni dengan kadar massa 87% Cu, 10% Al dan 3% Ni. Paduan memiliki warna kuning keemasan dikarenakan penambahan unsur aluminium dan nikel pada paduan. Gambar 4.1 (c) dan Gambar 4.2 (c) merupakan hasil peleburan spesimen paduan Cu-15Al-3Ni dengan kadar massa 82% Cu, 15% Al dan 3% Ni. Paduan memiliki warna perak dikarenakan bertambahnya unsur Al di dalam paduan. Terdapat porositas yang tersebar merata pada paduan.

Gambar 4.1 (d) dan Gambar 4.2 (d) merupakan hasil peleburan spesimen paduan Cu-20Al-3Ni dengan kadar massa 77% Cu, 20% Al dan 3% Ni. Paduan memiliki warna perak



kejinggaan dikarenakan bertambahnya unsur Al di dalam paduan. Terdapat porositas yang tersebar merata pada paduan.

Porositas merupakan cacat yang tidak diharapkan dari sebuah paduan. Temperatur *pouring* yang tidak terkontrol mengakibatkan banyak udara yang larut kedalam *molten metal* disaat proses penuangan ke dalam cetakan. Kondisi permeabilitas cetakan pasir yang rendah juga mengakibatkan udara yang terperangkap didalam cetakan tidak bisa keluar. Selain itu, ketika terdapat paduan panas yang dituang ke dalam cetakan, maka kandungan air pada cetakan pasir tersebut menguap dan masuk ke dalam paduan. Akumulasi udara dan uap air yang larut di dalam paduan akan keluar menjadi lubang lubang ketika temperatur paduan turun saat proses solidifikasi (P.N Rao, 1994).

4.2 Komposisi Kimia Paduan Cu-Al-Ni

Proses peleburan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *raw material rod* Cu 99,9%, Al 99,9% dan Ni *sheet* 98,5%. Rancangan komposisi kimia yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Paduan Cu-Al-Ni (%wt)

Paduan	Komposisi Rancangan			Komposisi Aktual			Others
	Cu (%wt)	Al (%wt)	Ni (%wt)	Cu (%wt)	Al (%wt)	Ni (%wt)	X (%wt)
Cu-5Al-3Ni	92	5	3	89.2	4.7	3.64	2.46
Cu-10Al-3Ni	87	10	3	86.2	10.2	3.21	0.39
Cu-15Al-3Ni	82	15	3	83.3	13.1	2.89	0.71
Cu-20Al-3Ni	77	20	3	78.6	17.07	3.35	0.98

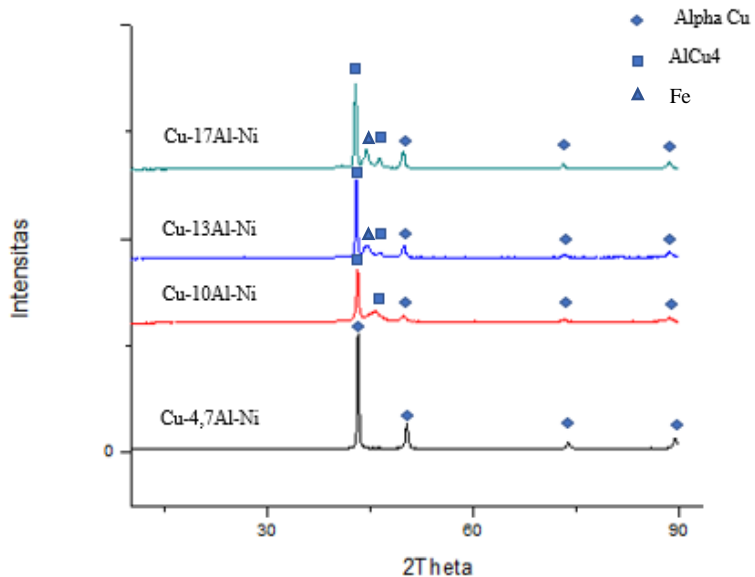


Tabel 4.1 menunjukkan bahwa terdapat beberapa perbedaan hasil pengujian komposisi kimia rancangan sebelum proses peleburan dibandingkan dengan komposisi kimia setelah proses peleburan. Pada paduan Cu-5Al-3Ni komposisi Cu berkurang sebanyak 2.8% komposisi Al berkurang sebanyak 0.3% dan komposisi Ni bertambah sebanyak 0.64%. Paduan Cu-10Al-3Ni komposisi Cu berkurang sebanyak 0.8% komposisi Al bertambah sebanyak 0.2% dan komposisi Ni bertambah sebanyak 0.21%. Paduan Cu-15Al-3Ni komposisi Cu bertambah sebanyak 1.3% komposisi Al berkurang sebanyak 1.9% dan komposisi Ni berkurang sebanyak 0.11%. Paduan Cu-20Al-3Ni komposisi Cu bertambah sebanyak 1.6% komposisi Al berkurang sebanyak 2.93% dan komposisi Ni bertambah sebanyak 0.35%

Berdasarkan hasil pengujian, unsur Al lebih banyak mengalami pengurangan dibandingkan unsur Cu dan Ni. Hal ini terjadi karena unsur Al mengalami oksidasi selama proses peleburan. Menurut diagram ellingham, unsur Al lebih mudah mengalami oksidasi karena memiliki Nilai Energi Bebas Gibbs yang lebih negatif dibandingkan unsur Cu dan Ni. Unsur Al lebih mudah bereaksi dengan oksigen membentuk aluminium oksida (Al_2O_3) dan terlihat sebagai terak (*slag*) yang mengapung diatas paduan cair (Total Materia, 2003). Terak pada paduan Cu-Al-Ni kemudian dihilangkan menggunakan alat gerinda.

4.3 Pengamatan Hasil XRD Paduan Cu-Al-Ni

Pengujian *X-Ray Diffraction* dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS sesuai standar ASTM C958. Bertujuan untuk mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Cu-Al-Ni. Pola XRD hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Pola XRD Paduan Cu-Al-Ni

Pada paduan Cu-4,7Al-3Ni, *peak* Cu muncul di 2θ $43,19^\circ$ pada bidang (1 1 1) , kemudian di 2θ $50,29^\circ$ pada bidang (2 0 0) , 2θ $89,42^\circ$ pada bidang (3 1 1) dan 2θ $73,86^\circ$ pada bidang (2 2 0) dengan nama fasa *alpha copper*. Fasa *copper* yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #00-004-0836.

Pada paduan Cu-10,2Al-3Ni, *peak* Cu muncul di 2θ $49,89^\circ$ pada bidang (2 0 0) , 2θ $88,65^\circ$ pada bidang (3 1 1) dan 2θ $73,26^\circ$ pada bidang (2 2 0) dengan nama fasa *alpha copper*. Fasa *copper* yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #00-004-0836. Peak AlCu₄ (β) muncul di sudut 2θ $43,14^\circ$ pada bidang (2 2 1) dan di 2θ $45,73^\circ$ pada bidang (3 1 0) . Fasa AlCu₄ yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #00-028-0006. (Wang, 2003)



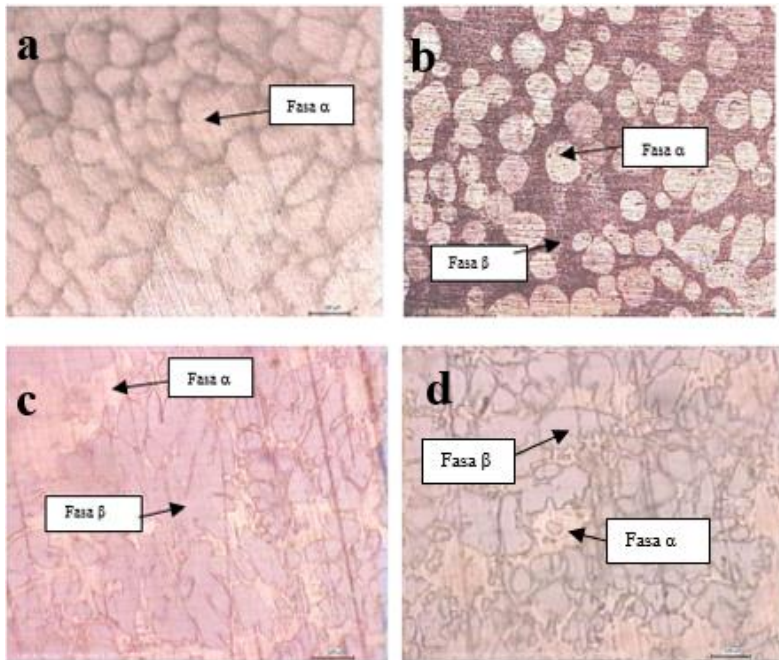
Pada paduan Cu-13,1Al-3Ni, *peak* Cu muncul 2θ $49,89^\circ$ pada bidang (2 0 0) , 2θ $88,6^\circ$ pada bidang (3 1 1) dan di 2θ $73,27^\circ$ pada bidang (2 2 0) dengan nama fasa alpha *copper*. Fasa *copper* yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #00-004-0836. Peak AlCu₄ (β) muncul di sudut 2θ $42,94^\circ$ pada bidang (2 2 1) dan 2θ $46,37^\circ$ pada bidang (3 1 0). Fasa AlCu₄ yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #00-028-0006. *Peak* Fe muncul di sudut 2θ $43,09^\circ$ sesuai dengan nomor PDF #96-152-5525 .

Pada paduan Cu-17Al-3Ni, *peak* Cu muncul , kemudian di 2θ $49,83^\circ$ pada bidang (2 0 0) , dan di 2θ $88,65^\circ$ pada bidang (3 1 1) dengan nama fasa alpha *copper*. Fasa *copper* yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #00-004-0836. Peak AlCu₄ (β) muncul di sudut 2θ $42,8^\circ$ pada bidang (2 2 1) dan 2θ $44,66^\circ$ pada bidang (3 1 0) . Fasa AlCu₄ yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #00-028-0006. *Peak* Fe muncul di sudut 2θ $43,09^\circ$ sesuai dengan nomor PDF #96-152-5525 . Munculnya fasa Fe ini dikarenakan logam pengaduk yang digunakan untuk mengaduk molten metal saat peleburan meleleh dan tercampur kedalam paduan.

Paduan Cu-Al-Ni berdasarkan diagram fasa ternary pada Gambar 2.13 untuk paduan dengan komposisi Al 5-20 % dan komposisi Ni 3-70% berada pada daerah Alpha Cu dan betta (AlCu₄). Sehingga pada hasil XRD untuk paduan Cu-10Al-Ni, Cu-13Al-Ni dan Cu-17Al-Ni terdapat 2 fasa yaitu Alpha Cu dan AlCu₄ (β) (Wang, 2003).

4.4 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Cu-Al-Ni

Pengamatan struktur mikro paduan Cu-Al-Ni dilakukan dengan pengujian metalografi sesuai ASTM E-407. Larutan etsa yang digunakan adalah etsa kode 34 dengan bahan 5 gr FeCl₃, 50 ml HCl, dan 100 ml *aquades*. Pemberian larutan etsa pada spesimen dilakukan dengan menggunakan metode *swab*. *Swab* dilakukan sebanyak ± 10 -15 kali. Hasil pengamatan struktur mikro seluruh paduan Cu-Al-Ni dapat dilihat pada Gambar 4.4.sni



Gambar 4.4 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Cu-Al-Ni
(a) Cu-4,7Al-Ni perbesaran 100x (b) Cu-10Al-Ni perbesaran 100x (c) Cu-13Al-Ni perbesaran 100x (d) Cu-17,07Al-Ni perbesaran 100x

Gambar 4.4 (a) menunjukkan pengamatan struktur mikro paduan Cu-5Al-3Ni pada perbesaran 100 kali. Struktur mikro yang tampak berupa butir-butir fasa α Cu. Aluminium bronze dengan kadar kurang aluminium kurang dari 8,5% akan memiliki fasa alpha (ASM Metal Handbook, 2004).

Gambar 4.4 (b), (c) dan (d) menunjukkan pengamatan struktur mikro paduan Cu-10Al-3Ni, Cu-15Al-3Ni dan Cu-20Al-3Ni pada perbesaran 100 kali. Fasa yang terbentuk adalah fasa α Cu dan β . Hal ini disebabkan karena penambahan unsur aluminium, karena aluminium memodifikasi fasa dalam paduan



dengan mempromosikan lebih banyak fasa β yang juga dibuktikan dengan hasil pengujian XRD yaitu didapatkan 2 fasa yaitu α Cu dan AlCu_4 (β). Fasa α pada strukturmikro memiliki daerah berwarna terang. Dan fasa β memiliki warna yang lebih gelap (ASM Metal Handbook, 2004).

Untuk membuktikan bahwa semakin banyak aluminum akan mempromosikan lebih banyak fasa β , dilakukan perhitungan perbandingan luas fasa α dan fasa β (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 % Luas Area α dan β pada Paduan Cu-Al-Ni

No	Paduan	Luas Fasa α (%)	Luas Fasa β (%)
1	Cu-4,7Al-Ni	100	-
2	Cu-10Al-Ni	48,88	51,12
3	Cu-13Al-Ni	40,78	59,22
4	Cu-17Al-Ni	31,78	71,42

Pada paduan Cu-10Al-Ni memiliki % luas area α sebesar 48,88 dan β sebesar 51,12. Paduan Cu-13Al-Ni memiliki % luas area α sebesar 40,78 dan luas fasa β mengalami peningkatan hingga menjadi 59,22. Dan paduan Cu-17,07Al-Ni memiliki % luas area α sebesar 31,78 dan luas β mengalami peningkatan menjadi 71,42. Hal ini disebabkan karena penambahan unsur aluminium, karena aluminium memodifikasi fasa dalam paduan dengan mempromosikan lebih banyak fasa β . Aluminium juga berfungsi sebagai inokulan yang memperbanyak nukleasi butir (Rajab, 2014). Fasa α memiliki struktur *fcc* yang memiliki sifat yang ulet dan kekerasannya lebih rendah. Selain itu struktur ini memiliki sifat yang lunak dan *formability* yang baik. Sedangkan struktur β memiliki struktur kristal BCC dimana struktur ini memiliki sifat yang kuat dan keras sehingga meningkatkan sifat mekanik dari paduan paduan (H J Meigh, 2000).

4.5 Pengujian Porositas Paduan Cu-Al-Ni



Pengujian porositas dilakukan dengan menggunakan prinsip hukum archimedes. Setelah itu, ditentukan selisih antara densitas teori dengan densitas aktual menggunakan air untuk mengukur volume nya dengan berat paduan di udara. Tabel 4.3 menunjukkan persen jumlah porositas dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 4.3 Jumlah Porositas Paduan Paduan Cu-Al-Ni

No	Paduan	Jumlah Porositas (%)
1	Cu-4,7Al-Ni	1,4
2	Cu-10Al-Ni	1,7
3	Cu-13Al-Ni	11,6
4	Cu-17Al-Ni	16,6

Pada paduan paduan Cu-4,7Al-Ni, didapatkan perhitungan jumlah porositas sebesar 1,4%. Pada paduan paduan Cu-10Al-Ni, hasil perhitungan jumlah porositas sebesar 1,7%. Pada paduan paduan Cu-13Al-Ni, hasil perhitungan jumlah porositas sebesar 11,6%. Pada paduan paduan Cu-17Al-Ni, hasil perhitungan jumlah porositas sebesar 16,6%. Porositas merupakan cacat yang tidak diharapkan dari sebuah paduan paduan. Semakin banyak penambahan unsur paduan, sifat mekanik akan semakin baik. Namun dengan munculnya cacat porositas, sifat mekanik akan memiliki nilai yang tidak sesuai atau semakin buruk dari yang seharusnya (Moscovitch, 2006).

Temperatur *pouring* yang tidak terkontrol mengakibatkan banyak udara yang larut kedalam *molten metal* disaat proses penuangan ke dalam cetakan. Kondisi permeabilitas cetakan pasir yang rendah juga mengakibatkan udara yang terperangkap didalam cetakan tidak bisa keluar. Selain itu, ketika terdapat paduan panas yang dituang ke dalam cetakan, maka kandungan air pada cetakan pasir tersebut menguap dan masuk ke dalam paduan. Akumulasi udara dan uap air yang larut di dalam paduan akan keluar menjadi



lubang lubang ketika temperatur paduan turun saat proses solidifikasi (P.N Rao, 1994).

4.6 Pengujian Kekerasan Paduan Cu-Al-Ni

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui ketahanan paduan Cu-Al-Ni terhadap indentasi dan goresan. Tabel 4.4 menunjukkan nilai kekerasan pada masing-masing paduan Cu-Al-Ni. Setiap paduan dilakukan pengujian terhadap 3 titik sehingga didapatkan 3 kekerasan pada masing-masing spesimen. Beban yang digunakan adalah 100 kg dan indentasi dilakukan selama 10 detik. Dari ketiga hasil tersebut, dilakukan perhitungan rata-rata kekerasan setiap paduan Cu-Al-Ni.

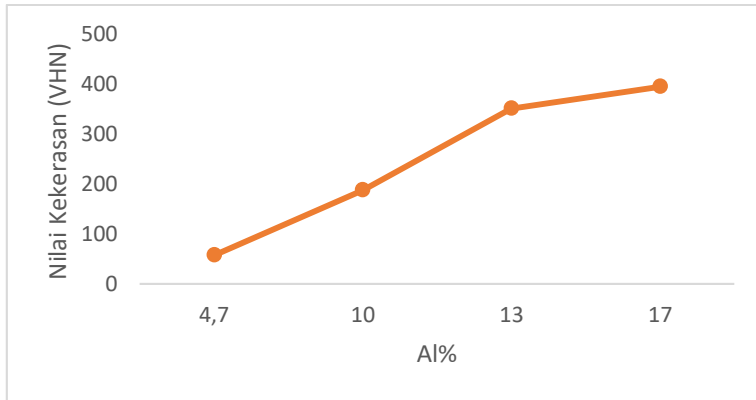
Tabel 4.4 Nilai Kekerasan Paduan Cu-Al-Ni

No	Paduan	<i>Hardness</i> (HV)
1	Cu-4,7Al-Ni	$57,6 \pm 1,52$
2	Cu-10Al-Ni	188 ± 7
3	Cu-13Al-Ni	$351 \pm 24,02$
4	Cu-17Al-Ni	$395 \pm 9,53$

Paduan paduan Cu-5Al-3Ni dengan indentasi pada tiga titik memiliki rata-rata kekerasan vickers sebesar 57.6 VHN. Paduan paduan Cu-10Al-3Ni memiliki rata-rata kekerasan vickers sebesar 188 VHN. Paduan paduan Cu-15Al-3Ni memiliki rata-rata



kekerasan vickers sebesar 351 VHN. Paduan paduan Cu-20Al- memiliki rata-rata kekerasan vickers sebesar 395 VHN. Hasil nilai kekerasan yang telah didapatkan ini, tidak terlalu terpengaruh dengan adanya porositas yang ada pada hasil coran.



Gambar 4.5 Pengaruh Penambahan Unsur Al terhadap Nilai Kekerasan Paduan Cu-Al-Ni

Gambar 4.5 menunjukkan grafik kenaikan nilai kekerasan paduan Cu-Al-Ni yang berbanding lurus dengan bertambahnya unsur Al. Semakin besar penambahan unsur Al pada paduan paduan, maka nilai kekerasan semakin besar. Paduan Cu-20Al-3Ni memiliki nilai kekerasan paling besar dibandingkan paduan lainnya. Paduan Cu-5Al-3Ni memiliki nilai kekerasan paling rendah.

Hal ini disebabkan karena penambahan unsur aluminium, karena aluminium memodifikasi fasa dalam paduan dengan mempromosikan lebih banyak fasa β . Kenaikan kekerasan sebanding dengan peningkatan luas fasa β yang dihitung melalui hasil struktur mikro paduan. Aluminium juga berfungsi sebagai inokulan yang memperbanyak nukleasi butir (Rajab, 2014). Fasa α memiliki struktur *fcc* yang memiliki sifat yang ulet dan kekerasannya lebih rendah. Selain itu struktur ini memiliki sifat



yang lunak dan *formability* yang baik. Sedangkan struktur β memiliki struktur kristal BCC dimana struktur ini memiliki sifat yang kuat dan keras sehingga meningkatkan sifat mekanik dari paduan paduan. (H J Meigh, 2000)

4.7 Pengujian Tarik Paduan Cu-Al-Ni

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan unsur aluminium terhadap nilai *ultimate tensile strength* dari masing masing paduan paduan. Standar spesimen yang digunakan pada pengujian ini adalah paduan berbentuk plat sesuai standar ASTM E8M. Nilai yang didapatkan dari hasil pengujian tarik paduan paduan Cu-Al-Ni dapat dilihat pada Tabel 4.5. Hubungan antara hasil pengujian tarik dengan persen berat penambahan unsur Al dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Tabel 4.5 menunjukkan nilai *ultimate tensile strength* yang didapat dari hasil pengujian tarik pada paduan paduan Cu-Al-Ni untuk setiap variasi penambahan unsur Al paduan paduan Cu-Al-Ni.

Tabel 4.5 Nilai *Ultimate Tensile Strength* Paduan Cu-Al-Ni

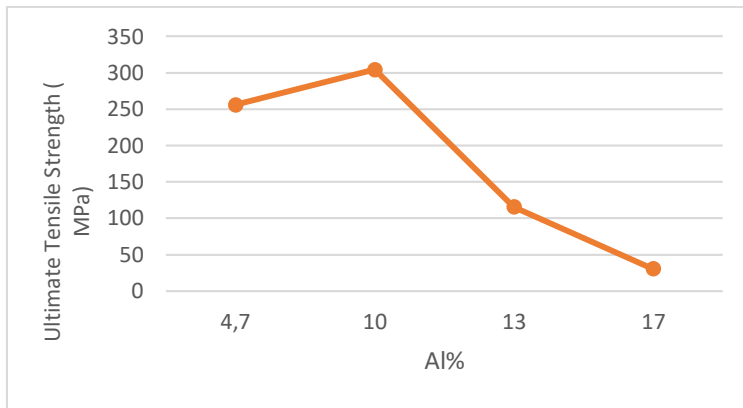
No	Paduan	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)
1	Cu-4,7Al-Ni	256,1
2	Cu-10Al-Ni	304,4
3	Cu-13Al-Ni	115,5
4	Cu-17Al-Ni	30,6



Paduan paduan Cu-5Al-3Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* sebesar 256.1 MPa. Paduan paduan Cu-10Al-3Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* sebesar 304.4 MPa. Paduan paduan Cu-15Al-3Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* sebesar 115.5 MPa. Paduan paduan Cu-20Al-3Ni memiliki rata-rata nilai *ultimate tensile strength* sebesar 56.2 MPa. Nilai UTS spesimen 4 ini sangat rendah karena adanya porositas pada paduan dan juga patahan yang tidak terjadi pada bagian gauge length. Terdapat penurunan nilai *ultimate tensile strength* dari spesimen 2 ke spesimen 3 dan 4 . Hal ini dapat terjadi karena adanya cacat porositas yang terbentuk pada spesimen uji tarik.

Temperatur *pouring* yang tidak terkontrol mengakibatkan banyak udara yang larut kedalam *molten metal* disaat proses penuangan ke dalam cetakan. Kondisi permeabilitas cetakan pasir yang rendah juga mengakibatkan udara yang terperangkap didalam cetakan tidak bisa keluar. Selain itu, ketika terdapat paduan panas yang dituang ke dalam cetakan, maka kandungan air pada cetakan pasir tersebut menguap dan masuk ke dalam paduan. Akumulasi udara dan uap air yang larut di dalam paduan akan keluar menjadi lubang lubang ketika temperatur paduan turun saat proses solidifikasi (P.N Rao, 1994).

Penambahan unsur Al tentunya akan mempengaruhi sifat mekanik dari paduan Cu-Al-Ni. Namun, dengan adanya porositas maka akan memperburuk sifat mekanik (Moscovitch, 2006).



Gambar 4.6 Pengaruh Penambahan Unsur Al terhadap Nilai *Ultimate Tensile Strength* Paduan Cu-Al-Ni

Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara nilai *ultimate tensile strength* dengan penambahan unsur Al pada paduan paduan Cu-Al-Ni. Penambahan unsur Al pada paduan Cu-Al-Ni mempengaruhi nilai *ultimate tensile strength*. Namun, nilai dari *ultimate tensile strength* juga dipengaruhi dengan adanya cacat porositas. Cacat porositas ini yang menyebabkan nilai *ultimate tensile strength* dari paduan paduan Cu-15Al-3Ni dan Cu-20Al-3Ni memiliki nilai sangat rendah dibandingkan paduan lainnya. Walaupun terdapat porositas, penambahan unsur Al mempengaruhi naiknya nilai *ultimate tensile strength* pada paduan. Paduan Cu-10Al-3Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* lebih tinggi dibandingkan Cu-5Al-3Ni. Hal ini disebabkan karena penambahan unsur aluminium, karena aluminium memodifikasi fasa dalam paduan dengan mempromosikan lebih banyak fasa β . Struktur fasa β memiliki struktur kristal BCC dimana struktur ini memiliki sifat yang kuat dan keras. (H J Meigh, 2000)

Tabel 4.6 menunjukkan nilai *ultimate tensile strength*, *yield strength*, dan kekerasan dari spesifikasi material untuk *propeller* kapal dan paduan Cu-Al-Ni.



Tabel 4.6 Standar spesifikasi marine *propeller* dengan Paduan Cu-Al-Ni

No	Material	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Hardness</i> (VHN)
1	Cu-5Al-3Ni	256.1	57.6
2	Cu-10Al-3Ni	304.4	188
3	Cu-15Al-3Ni	115.5	351
4	Cu-20Al-3Ni	30,6	395
5	Spesifikasi material <i>propeller</i>	551.5	150.2

Paduan paduan Cu-Al-Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* yang lebih rendah dibandingkan spesifikasi material untuk *propeller* kapal. Paduan paduan Cu-10Al-3Ni, Cu-15Al-3Ni, dan Cu-20Al-3Ni memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada spesifikasi material untuk *propeller* kapal. Nilai UTS dan yield dipengaruhi oleh cacat pada spesimen yaitu banyaknya porositas didalam paduan. Porositas merupakan cacat yang tidak diharapkan dari sebuah paduan paduan (P.N Rao, 1994). Semakin banyak porositas pada paduan maka kekuatan dari paduan tersebut akan semakin turun (Moscovitch, 2006).

Keseluruhan nilai *ultimate tensile strength* dan *hardness* dari paduan paduan Cu-Al-Ni hasil pengecoran pada penelitian kali ini tidak memenuhi spesifikasi material *propeller*. Oleh karena itu, paduan Cu-Al-Ni pada penelitian ini belum dapat digunakan sebagai material *propeller* kapal.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah :

1. Unsur Al mempengaruhi struktur mikro paduan Cu-Al-Ni. Semakin bertambahnya unsur Al dalam paduan, maka fasa β akan muncul dan ukuran butir menjadi semakin kecil.
2. Unsur Al mempengaruhi nilai kekerasan paduan Cu-Al-Ni. Semakin bertambahnya unsur Al dalam paduan, nilai kekerasan paduan semakin tinggi. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh logam paduan Cu-17Al-3Ni dengan nilai sebesar 395 HV. Nilai kekerasan terendah dimiliki oleh logam Cu-4,7Al-3Ni dengan nilai sebesar 57,6 HV.
3. Unsur Al mempengaruhi nilai kekuatan tarik paduan Cu-Ni akan tetapi karena dipengaruhi porositas pada logam mengakibatkan nilai kekuatan tarik rendah. Nilai *ultimate tensile strength* terendah pada logam paduan Cu-17Al-3Ni sebesar 30,6 MPa dan tertinggi dimiliki oleh logam Cu-10Al-3Ni sebesar 304,4 MPa.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat digunakan untuk melanjutkan penelitian ini kedepannya, diantaranya :

1. Menggunakan jenis cetakan selain *sand casting* pada proses pengecoran logam paduan.
2. Menggunakan alat *temperature control* untuk mengamati proses peleburan logam di dalam *crucible furnace* dan saat penuangan *molten metal* kedalam cetakan.



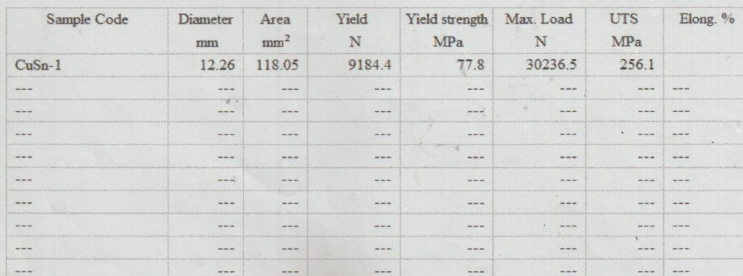
(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1999. *ASTM C958 Standard Test Method for Particle Size Distribution of Alumina or Quartz by X-Ray Monitoring of Gravity Sedimentation*. USA: ASM International.
- _____. 1999. *ASTM E-8 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. USA: ASM International.
- _____. 1999. *ASTM E-92 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. USA: ASM International.
- _____. 1999. *ASTM E-407 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. USA: ASM International.
- _____. 1990. *ASM Handbook Volume 1 Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. USA: ASM International.
- _____. 1990. *ASM Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. USA: ASM International.
- _____. 1992. *ASM Handbook Volume 3 Alloy Phase Diagrams*. USA: ASM International.
- _____. 2013. *ASME Valves-Flanged, Threaded, and Welding End*. USA: ASM International.
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw Hill Book Company.
- Callister, William. 2007. *Material Science and Engineering An Introduction*. New York: JohnWiley & Sons, Inc.

- Collini, Luca. 2012. *Copper Alloys - Early Applications and Current Performance - Enhancing Processes*. InTech
- Frederick N Rhines, 1956. **Phase Diagrams in Metallurgy**. Toronto : McGraw Hill Book Company.
- P. Groover, M. 2010. **Fundamental of Modern Manufacture 4th edition**. USA: John Wiley & Sons, Inc
- P.N Rao, 2001. Manufacturing Technology Foundry, Forming, and Welding. Malaysia: McGraw Hill Book Company
- Reinhart Fred M, 1972. *Corrosion Of Materials In Surface Seawater After 12 AND 18 Months Of Exposure*. California: Naval Civil Engineering Laboratory.
- Sudjana, Hadi. 2008. *Teknik pengecoran untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Lampiran 1: Hasil uji tarik Cu-4,7Al-Ni



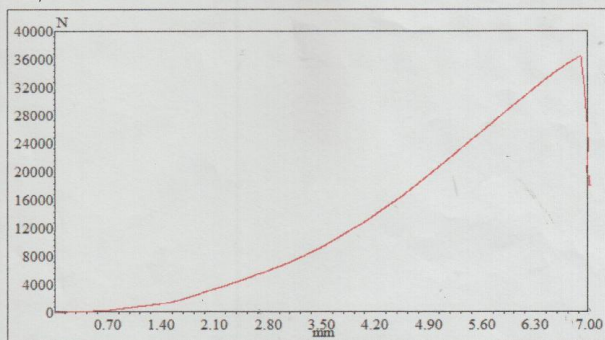
Lampiran 2: Hasil uji tarik Cu-10Al-Ni



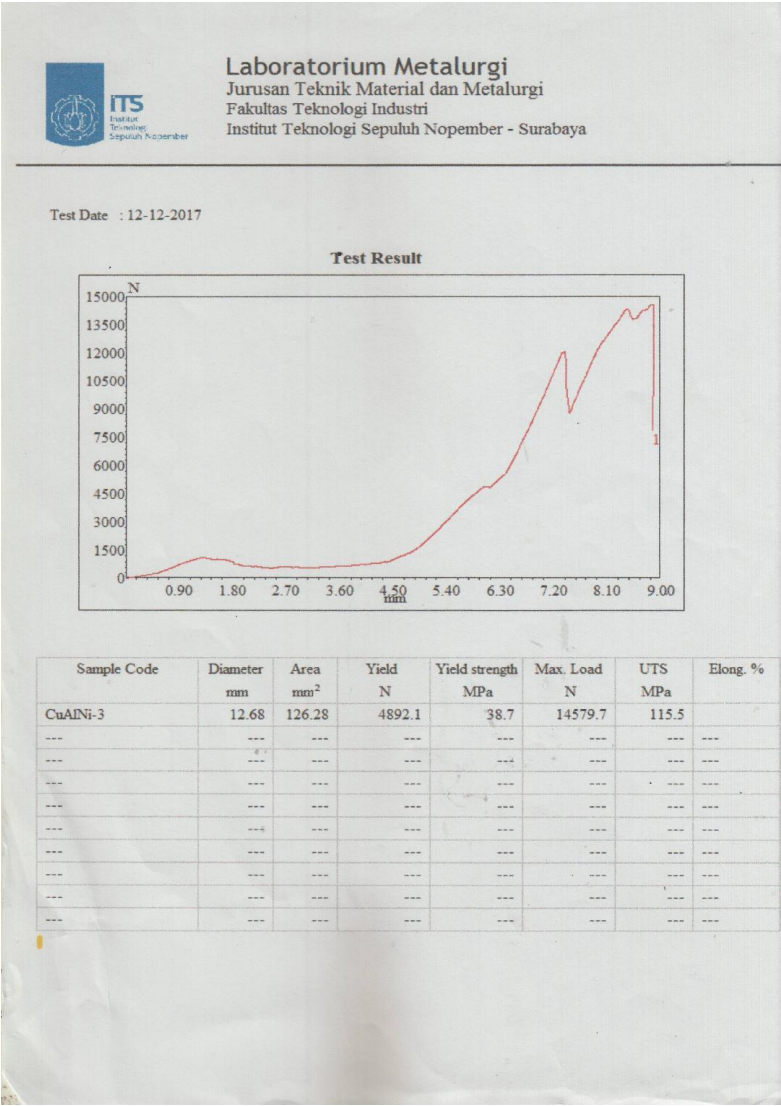
Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 12-12-2017

Test Result

[illegible]

Lampiran 3: Hasil uji tarik Cu-13Al-Ni



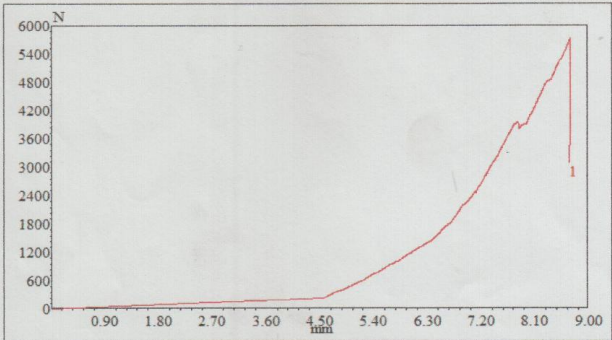
Lampiran 4: Hasil uji tarik Cu-17,07Al-Ni



Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 12-12-2017

Test Result



Sample Code	Diameter mm	Area mm ²	Yield N	Yield strength MPa	Max. Load N	UTS MPa	Elong. %
CuAlNi-4	12.37	120.18	-	-	5731.2	47.7	
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

Lampiran 5: Hasil uji OES Paduan Cu-4,7Al-Ni

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 1 Material : Cu Base (Cu-Ni-Al)
Customer : ICHSAN SALMAN TEK-MATERIAL Dimension : -
Lab-nó : LAB. UJI BAHAN Heat-no. : -
Operator : AGUS Ka. Laboratorium : M. THORIQ W.
Date: 11/27/2017

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	89.2	<10.0	< 0.0005	0.0351	0.0013	< 0.0002	0.0366	3.58
2	89.1	<10.0	< 0.0005	0.0228	0.0020	< 0.0002	0.0253	3.74
3	89.4	<10.0	< 0.0005	0.0185	0.0016	< 0.0002	0.0150	3.59
Ave	89.2	<10.0	< 0.0005	0.0255	0.0016	< 0.0002	0.0256	3.64
	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	> 3.00	0.0031	0.0027	< 0.0010	< 0.0010
2	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	> 3.00	0.0034	0.0031	< 0.0010	< 0.0010
3	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	> 3.00	0.0031	0.0031	< 0.0010	< 0.0010
Ave	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	> 3.00	0.0032	0.0030	< 0.0010	< 0.0010
	Bi	Cd	Sb	Zr				
1	< 0.0005	< 0.0002	0.0111	< 0.0002				
2	< 0.0005	< 0.0002	0.0169	0.0007				
3	< 0.0005	< 0.0002	0.0191	< 0.0002				
Ave	< 0.0005	< 0.0002	0.0157	0.0002				

Kampus ITS Sukolilo
B. Teknisk. Kimia

Lampiran 6: Hasil uji OES Paduan Cu-10Al-Ni

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 1 Material : Cu Base (Cu-Ni-Al)
Customer : ICHSAN SALMAN TEK-MATERIAL Dimension : -
Lab-nó : LAB. UJI BAHAN Heat-no. : -
Operator : AGUS Ka. Laboratorium : M. THORIQ W.
Date: 11/27/2017

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	89.2	<10.0	< 0.0005	0.0351	0.0013	< 0.0002	0.0366	3.58
2	89.1	<10.0	< 0.0005	0.0228	0.0020	< 0.0002	0.0253	3.74
3	89.4	<10.0	< 0.0005	0.0185	0.0016	< 0.0002	0.0150	3.59
Ave	89.2	<10.0	< 0.0005	0.0255	0.0016	< 0.0002	0.0256	3.64
	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	> 3.00	0.0031	0.0027	< 0.0010	< 0.0010
2	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	> 3.00	0.0034	0.0031	< 0.0010	< 0.0010
3	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	> 3.00	0.0031	0.0031	< 0.0010	< 0.0010
Ave	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	> 3.00	0.0032	0.0030	< 0.0010	< 0.0010
	Bi	Cd	Sb	Zr				
1	< 0.0005	< 0.0002	0.0111	< 0.0002				
2	< 0.0005	< 0.0002	0.0169	0.0007				
3	< 0.0005	< 0.0002	0.0191	< 0.0002				
Ave	< 0.0005	< 0.0002	0.0157	0.0002				

Kampus ITS Sukolilo
B. Teknik Kimia

Lampiran 7: Hasil uji OES Paduan Cu-13Al-Ni

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 3 Material : Cu Base (Cu-Ni-Al)
Customer : ICHSAN SALMAN TEK-MATERIAL Dimension : -
Lab-no. : LAB. UJI BAHAN Heat-no. : -
Operator : AGUS Ka. Laboratorium : M. THORIQ W.
Date: 11/27/2017

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	81.3	<10.0	1.40	1.30	> 0.800	1.35	0.243	3.19
2	87.2	<10.0	0.571	1.64	> 0.800	1.10	0.253	2.84
3	81.4	<10.0	0.167	0.121	0.256	2.61	0.441	2.74
Ave	83.3	<10.0	0.713	1.02	> 0.800	1.69	0.312	2.89

	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	0.627	0.0201	< 0.0005	13.6	> 0.150	> 0.500	0.0523	< 0.0010
2	0.0875	0.156	0.225	10.1	> 0.150	0.0594	0.0408	0.355
3	1.64	0.0678	0.0605	15.6	> 0.150	> 0.500	0.373	0.326
Ave	0.787	0.0815	0.0953	13.1	> 0.150	> 0.500	0.155	0.227

	Bi	Cd	Sb	Zr
1	0.0556	< 0.0002	> 0.600	0.0638
2	0.182	0.0140	0.316	> 0.120
3	0.562	< 0.0002	> 0.600	> 0.120
Ave	0.267	0.0046	> 0.600	> 0.120

Lampiran 8: Hasil uji OES Paduan Cu-17,07Al-Ni

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 4 Material : Cu Base (Cu-Ni-Al)
Customer : ICHSAN SALMAN TEK-MATERIAL Dimension : -
Lab-no. : LAB. UJI BAHAN Heat-no. : -
Operator : AGUS Ka. Laboratorium : M. THORIQ W.
Date: 11/27/2017

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	76.85	<10.0	1.40	1.30	> 0.800	1.35	0.243	3.18
2	80.6	<10.0	0.571	1.64	> 0.800	1.10	0.253	3.55
3	78.35	<10.0	0.167	0.121	0.256	2.61	0.441	3.32
Ave	78.6	<10.0	0.713	1.02	> 0.800	1.69	0.312	3.35

	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	0.627	0.0201	< 0.0005	19.07	> 0.150	> 0.500	0.0523	< 0.0010
2	0.0875	0.156	0.225	16.8	> 0.150	0.0594	0.0408	0.355
3	1.64	0.0678	0.0605	15.34	> 0.150	> 0.500	0.373	0.326
Ave	0.787	0.0815	0.0853	17.07	> 0.150	> 0.500	0.155	0.227

	Bi	Cd	Sb	Zr
1	0.0556	< 0.0002	> 0.600	0.0638
2	0.182	0.0140	0.316	> 0.120
3	0.562	< 0.0002	> 0.600	> 0.120
Ave	0.267	0.0046	> 0.600	> 0.120

Lampiran 8: Pola Patahan Hasil Pengujian Tensile



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Ichsan Salman, Lahir di Padang pada tanggal 9 Desember 1996. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Baiturrahmah. Kemudian dilanjutkan ke jenjang pertama di SMPN 1 Kota Padang. Selanjutnya dilanjutkan ke jenjang atas di SMAN 1 Kota Padang. Lalu penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri yaitu di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Selama menempuh perkuliahan penulis sudah mengikuti beberapa pelatihan, seperti Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra-Tingkat Dasar atau LKMM Pra-TD, Pelatihan Karya Tulis Ilmiah dan Pelatihan Jurnalistik Tingkat Dasar. Selain itu, penulis juga menjadi staff Unit Kerja Khusus di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi pada tahun kedua, dan menjadi Bendahara Umum HMMT pada tahun Ketiga. Penulis juga merupakan grader Teknologi Pengecoran dan asisten Laboratorium Fisika Material. Penulis sempat melakukan kerja praktek di PT Pertamina RU VI Balongan di bagian *Stationery and Statutory Inspection Engineer Departement*.

Tugas akhir yang diambil penulis yaitu adalah bidang Manufaktur dengan judul “Pengaruh Penambahan Unsur Aluminium (Al) terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Paduan Tembaga-Aluminium-Nikel (Cu-Al-Ni) pada Aplikasi Propeller Kapal”.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)